INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Investigação Aprofundada de Acidentes com Veículos de Duas Rodas Motorizados recorrendo a Modelos Computacionais

Daniel Fernando Pereira Bernardo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Júri

Presidente: Prof. Doutor Luís Manuel Varejão Faria (IST)

Orientador: Prof. Doutor João Manuel Pereira Dias (IST)

Vogal: Prof. Doutor José Domingos Carvalhais (FMH)

Junho de 2012

Agradecimentos

Agradeço ao Professor João Dias pela sua disponibilidade quer ao nível académico quer a nível pessoal, pelas oportunidades oferecidas, pela confiança no meu trabalho e pelo apoio e orientação na realização da presente dissertação.

Quero também agradecer à Professora Conceição Amado do Departamento de Matemática do IST pela breve mas decisiva sessão de esclarecimentos e cujo pragmatismo se revelou essencial para o avanço do trabalho numa fase crítica da sua evolução.

Aos meus amigos, colegas, amigos e colegas, a todos agradeço pelo interesse, apoio e incentivos durante o tempo dedicado à realização da dissertação e pela partilha de jornada, pelo companheirismo e momentos de diversão. Uma menção também a quem, pelo seu abrupto desaparecimento, inconscientemente deixa a marca da relatividade, do propósito e do empenho.

Mais do que agradecer, compartilho a realização da minha dissertação de mestrado e o culminar deste ciclo com os meus motores, a força que me impulsiona pelo seu exemplo, dedicação, expectativa descomprometida e inteira confiança: os meus pais, irmãos e avós, a quem espero poder um dia retribuir.

O meu último e primeiro agradecimento pertence a quem esteve presente em todos os dias do meu envolvimento neste trabalho e que sem ter essa obrigação, partilhou das dificuldades, concedeu a sua paciência e motivou, sempre de forma incondicional. És o meu sentido, o meu objectivo e a minha razão para avançar. Para a Andreia. Agora já podemos!

Resumo

Da aplicação da regressão ordinal a uma amostra de condutores de Veículos de Duas Rodas Motorizados (VDRM) vítimas de acidente no período 2007-2010, utilizando o programa SPSS, verificou-se uma associação estatisticamente significativa entre o aumento da gravidade das lesões e o tipo de VDRM (motociclo), género do condutor (masculino), não utilização de capacete, condições de luminosidade (noite), dia da semana (Sábado e Domingo), período do ano (Julho-Setembro) e manobra do condutor do VDRM (mudança de direcção à esquerda, mudança de via, circulação em sentido oposto ou atravessando a via).

A análise de uma amostra de 53 acidentes reais com VDRM investigados e reconstituídos computacionalmente recorrendo ao programa PC-Crash indiciam a condução em excesso de velocidade por parte do VDRM como o principal factor responsável por acidentes graves. Destacam-se também um potencial grupo de risco entre os condutores de motociclos desportivos e de elevada cilindrada e as colisões laterais em termos de frequência e mesmo de gravidade dos acidentes com VDRM.

A colisão lateral foi analisada através de simulações computacionais variando o ângulo (0º e 45º) e velocidade (50 km/h e 120 km/h) de impacto do motociclo na lateral de veículos ligeiros, verificando-se a transferência da maior parcela da energia de deformação para o motociclo e a elevada probabilidade do seu condutor sofrer lesões graves. Os resultados obtidos também sugerem que o capacete oferece uma potencial redução das lesões na cabeça em impactos a 50 km/h, mas que a 120 km/h, a sua eficácia em termos de lesões fatais é nula.

Palavras-Chave: Veículos de Duas Rodas Motorizados, Regressão ordinal, Biomecânica do impacto, Simulação computacional, Reconstituição de acidentes.

Abstract

By applying ordinal regression to a sample of PTW (Powered Two Wheeler) riders injured in accidents occurred between 2007 and 2010 using the software SPSS, it was verified that the increase of PTW riders' injuries severity in crashes was significantly related to the situations in which the PTW is a motorcycle, the rider is male, doesn't wear a helmet, the accident occurs at night, weekend or between July and September and the PTW was changing direction to the left, changing lane, driving in the direction of the oncoming traffic or crossing lanes.

A set of 53 real accidents involving PTWs investigated and computationally reconstructed using the software PC-Crash was analyzed and the results indicate PTW speeding as the main factor responsible for serious PTW accidents. Sport and large engine displacement motorcycles riders stand out as a potential risk group and side collisions are the typical accident configuration in terms of frequency and even severity.

Lateral collisions between a motorcycle and the side of passenger cars were simulated by varying the motorcycle impact angle (0º and 45º) and velocity (50 km/h and 120 km/h) and it was found that the largest share of the collision's deformation energy is transferred to the motorcycle and that there is a high probability of severe injuries to the rider. The results also suggest that helmets offer a potential reduction of injuries to the head in a 50 km/h collision, but at 120 km/h, it has a null efficiency in terms of preventing fatal injuries.

Keywords: Powered Two Wheeler, Ordinal regression, Impact biomechanics, Computational simulation, Accidents reconstitution.

Índice

Agradecimentos i
Resumo iii
Abstract v
Índice vii
Índice de Figuras xi
Índice de Tabelas xiii
Glossário xv
1 Introdução 1
1.1 Motivação 1
1.2 Revisão Bibliográfica 4
1.3 Objectivos e organização 9
2 Análise estatística dos acidentes com VDRM 11
2.1 Acidentes com VDRM em Portugal 11
2.1.1 Factor veículo 12
2.1.2 Factor humano 15
2.1.3 Factores ambientais e distribuição geográfica 20
2.1.4 Natureza dos acidentes 23
2.2 Factores de risco de lesões graves em acidentes com VDRM 26
2.2.1 Dados 27
2.2.2 Metodologia 28
2.2.2.1 Variáveis 28
2.2.2.2 Modelo estatístico 30
2.2.3 Resultados 34
2.2.4 Discussão 38
2.2.5 Limitações 41
3 Modelos computacionais e respectivo fundamento teórico 43
3.1 Dinâmica de corpos múltiplos 43
3.2 Conservação do momento 45
4 Investigação aprofundada de acidentes com VDRM 47

4.1 Metodologia aplicada na investigação e reconstituição computacional de acidentes com VDRM 47
4.2 Acidentes reais com VDRM reconstituídos computacionalmente 50
4.2.1 Atropelamento envolvendo três peões e motociclo de potência não limitada 51
4.2.1.1 Características gerais dos veículos 51
4.2.1.2 Deformações/danos dos veículos 51
4.2.1.3 Factor humano 52
4.2.1.4 Factor ambiental 52
4.2.1.5 Análise das lesões sofridas pelo condutor do motociclo e peões 52
4.2.1.6 Dinâmica do acidente 53
4.2.1.7 Simulação Computacional 53
4.2.1.8 Discussão e conclusões 54
4.2.2 Colisão entre veículo ligeiro de passageiros e motociclo de potência limitada 55
4.2.2.1 Características gerais dos veículos 55
4.2.2.2 Deformações/danos dos veículos 55
4.2.2.3 Factor humano 56
4.2.2.4 Factor ambiental 56
4.2.2.5 Análise das lesões sofridas pelo condutor e passageiro do motociclo 56
4.2.2.6 Dinâmica do acidente 57
4.2.2.7 Simulação Computacional 57
4.2.2.8 Discussão e conclusões 58
4.3 Resultados da investigação de acidentes reais com VDRM 59
4.4 Discussão dos resultados 68
5 Simulação computacional de colisões laterais com VDRM 71
5.1 Conceitos teóricos 71
5.1.1 Biomecânica do impacto 71
5.1.2 Mecanismos de lesão na cabeça 71
5.1.3 Critério de lesão na cabeça (HIC) 72
5.1.4 Escala de lesões (AIS) 73
5.2 Metodologia aplicada 73
5.3 Análise das simulações de colisão lateral 76
5.3.1 Estimativa da energia de deformação dos veículos 76
5.3.2 Análise de lesão na cabeça 77
5.3.3 Resultados obtidos 78
5.4 Discussão dos resultados 79

6 Recomendações relativas aos acidentes com VDRM em Portugal 83
6.1 Medidas Prioritárias 83
7 Conclusões e propostas para estudos futuros 87
7.1 Conclusões 87
7.2 Propostas para estudos futuros 89
8 Bibliografia 91
Anexo I 97
ANEXO II 98
ANEXO III 101
ANEXO IV 102
ANEXO V 105
ANEXO VI 107
ANEXO VII 112

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Vítimas mortais em acidentes com VDRM na UE a 15 (sem Luxemburgo) por milhão de habitantes de 2000 até 2010. 2
Figura 1.2 – Vítimas mortais em acidentes com ciclomotores por milhão de habitantes na UE a 15 (sem, Luxemburgo, Reino Unido e Irlanda) de 2000 até 2010. 3
Figura 1.3 – Vítimas mortais por cada 100 vítimas de acidente em 2010, por veículo, em Portugal. 4
Figura 2.1 – Vítimas mortais por cada 100 acidentes com vítimas, 1998 – 2010, Portugal. 12
Figura 2.2 – Vítimas mortais e feridos graves por cada 1000 veículos em circulação, 2007 – 2010. .. 13
Figura 2.3 – Vendas de veículos novos por categoria de motociclo e ciclomotores. 14
Figura 2.4 – Índice de Gravidade por categoria de VDRM, entre 2007 e 2010. 15
Figura 2.5 – Vítimas mortais por faixa etária do condutor de motociclo, 2007-2010. 16
Figura 2.6 – Vítimas mortais por faixa etária do condutor de cada classe de motociclo, 2010. 17
Figura 2.7 – Vítimas mortais por faixa etária do condutor de ciclomotor, 2007-2010. 17
Figura 2.8 – Número de mortos entre condutores de motociclos por anos de carta, 2007-2010. 18
Figura 2.9 – Número de mortos entre condutores de ciclomotores por anos de carta, 2007-2010. 18
Figura 2.10 – Índice de gravidade em acidentes com motociclos por condições de luminosidade, 2010. 20
Figura 2.11 – Índice de gravidade em acidentes com motociclos segundo a hora do dia em 2010. ... 21
Figura 2.12 – Índice de gravidade e número de vítimas em acidentes com motociclos por 100 000 habitantes de cada distrito, em 2010. 22
Figura 2.13 – Discriminação do número de acidentes com vítimas ocupantes de motociclos, número de mortos e feridos graves por natureza do acidente, 2010. 24
Figura 2.14 – Índice de gravidade por natureza do acidente com motociclos e ciclomotores, 2010. .. 25
Figura 2.15 – Indicador de gravidade por natureza do acidente com motociclos e ciclomotores, 2010. 26
Figura 3.1 – Sistemas de corpos múltiplos. 43
Figura 3.2 – Localização de um ponto genérico P relativamente ao referencial de inércia. 44
Figura 4.1 – Fluxograma das etapas do processo aplicado na reconstituição dos acidentes reais. 48
Figura 4.2 – Exemplo do modelo do motociclo. 51
Figura 4.3 – Fotogramas da simulação computacional da segunda fase do acidente. 54
Figura 4.4 – Exemplo do modelo do veículo nº1 e veículo nº2. 55
Figura 4.5 – Fotogramas da simulação computacional do acidente. 58
Figura 4.6 – Zona do impacto principal no VDRM. 61
Figura 4.7– Zona do impacto principal no OV. 61
Figura 4.8 – Distribuição das lesões nos condutores de VDRM. 62
Figura 5.1 – Movimento relativo entre o cérebro e o crânio devido à inércia. 72
Figura 5.2 – Modelos dos veículos usados na simulação computacional. 74
Figura 5.3 – Modelos de corpos múltiplos do motociclo e condutor usados na simulação computacional. 75

Figura 5.4 – Fotogramas a), b) e c) do impacto entre os veículos. 76
Figura 5.5 – Fotogramas a), b), c) e d) da simulação de colisão utilizando modelos de corpos múltiplos do motociclo e corpo humano. 77
Figura 5.6 – Instante do impacto da cabeça do condutor do motociclo no tejadilho do ligeiro. 77
Figura 5.7– Variação da aceleração da cabeça nos primeiros 0,15s do impacto com cada veículo ligeiro. 81
Figura 6.1 – a) Vista convencional da zona frontal do VDRM com luz de cruzamento ligada, b) configuração em T, c) configuração em T com luzes no capacete. 85
Figura 7.1 – Exemplo de simulador de condução de motociclo. 89
Figura VI.1 – Fotografia aérea do local do acidente com indicação do sentido de circulação do motociclo e locais de atropelamento. 107
Figura VI.2– Fotografia do motociclo: a) numa vista geral das deformações verificadas, b) numa perspectiva aproximada de alguns dos danos no quadro do veículo (pormenores a vermelho). 107
Figura VI.3 – Fotografia da zona: a) anterior, b) lateral direita do ligeiro Opel Corsa, realçando-se os danos visíveis (pormenores a vermelho e setas a verde e amarelo). 107
Figura VI.4 – a) Zona anterior e b) Zona posterior do capacete do condutor do motociclo, com indicação dos danos visíveis. 108
Figura VI.5 – Zonas onde ocorreram as fracturas, recorrendo a um modelo do corpo humano. 108
Figura VI.6 – Modelos de: a) motociclo e condutor, b) peões utilizados na reconstituição computacional do acidente. 108
Figura VI.7 – Modelos dos ligeiros de passageiros utilizados na reconstituição computacional. 108
Figura VI.8 – Fotografia aérea do local do acidente, com indicação da zona onde ocorreu a colisão. 109
Figura VI.9 – Fotografia do local do acidente, na perspectiva do sentido de marcha dos veículos (seta a vermelho). 109
Figura VI.10 – Fotografia a) aproximada da zona traseira e lateral esquerda do motociclo, b) do lado direito do motociclo, na sua posição normal de condução. 109
Figura VI.11 – Fotografia da zona: a) frontal lateral direita, b) frontal do ligeiro de passageiros. 110
Figura VI.12 – Zonas onde ocorreram as lesões, recorrendo a um modelo do corpo humano. 110
Figura VI.13– Regiões do a) cérebro e b) crânio, em que se verificaram lesões na vítima mortal. ... 110
Figura VI.14 – Posições finais do motociclo e dos seus ocupantes. 111
Figura VI.15 – Modelos de: a) motociclo e respectivos condutor e passageiro, b) ligeiro de passageiros utilizados na reconstituição computacional do acidente. 111
Figura VII.1 – Correlação entre HIC e AIS. 112
Figura VII.2 – Configuração de impacto lateral 413 – 0/13,4 da norma ISO13232 (fonte: Deguchi, 2005). 112
Figura VII.3 – Gráfico das acelerações verificadas na cabeça do modelo computacional do condutor do motociclo 112

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Número total de vítimas em acidentes rodoviários ocorridos em 1998 e 2010. 11
Tabela 2 – Vítimas mortais por categoria de VDRM entre 2007 e 2010. 13
Tabela 3 – Feridos graves por categoria de VDRM entre 2007 e 2010. 14
Tabela 4 – Condutores de motociclo vítimas de acidente em 2010, por género do condutor. 16
Tabela 5 – Variação da idade média dos condutores de VDRM vítimas de acidente, 2007-2010. 17
Tabela 6 – Uso de capacete em condutores de motociclo vítimas de acidentes em 2010. 19
Tabela 7 – Uso de capacete em condutores de ciclomotor vítimas de acidentes em 2010. 19
Tabela 8 – Índice de gravidade dos acidentes com VDRM segundo o dia da semana, 2010. 21
Tabela 9 – Índice de gravidade dos acidentes com VDRM dentro e fora das localidades em 2010. 23
Tabela 10 – Abreviaturas consideradas por natureza de acidente, 2010. 23
Tabela 11 – Principais resultados obtidos com o modelo de regressão ordinal. 41
Tabela 12 - Gravidade das lesões dos condutores de VDRM. 49
Tabela 13 – Características dos indivíduos envolvidos no acidente. 52
Tabela 14 – Características físicas utilizadas nas simulações computacionais. 53
Tabela 15 – Características dos indivíduos envolvidos no acidente. 56
Tabela 16 – Características físicas utilizadas nas simulações computacionais. 58
Tabela 17 – Gravidade das lesões do condutor do VDRM por tipo de VDRM. 59
Tabela 18 – Gravidade das lesões do condutor do VDRM por tipo de OV envolvido no acidente. 59
Tabela 19 – Gravidade das lesões do condutor do VDRM por cilindrada do VDRM. 60
Tabela 20 – Gravidade das lesões do condutor do VDRM por estilo do VDRM. 60
Tabela 21 – Correlação entre o uso de capacete e a ocorrência de lesões na cabeça entre condutores de VDRM com lesões graves ou mortos. 63
Tabela 22 – Gravidade das lesões do condutor do OV. 63
Tabela 23 – Principal responsável pelo acidente com o VDRM. 65
Tabela 24– Factores primários e contributivos na ocorrência acidente. 66
Tabela 25 – Velocidades de impacto do VDRM e OV nos acidentes de maior gravidade. 67
Tabela 26 – Características dos veículos ligeiros em termos de massa e altura máxima. 74
Tabela 27 – Massa, velocidade pré e pós-impacto e energia de deformação de cada veículo. 77
Tabela 28 – HIC e AIS para a simulação realizada e caso o condutor utilizasse capacete. 78
Tabela 29 – Energia de deformação dos veículos. 78
Tabela 30 – HIC e AIS para as condições do impacto envolvendo o ligeiro nº1 e o potencial de redução se o condutor do motociclo usasse capacete. 79
Tabela 31 – HIC e AIS para as condições do impacto envolvendo o ligeiro nº2 e o potencial de redução se o condutor do motociclo usasse capacete. 79
Tabela 32 – HIC e AIS para as condições do impacto envolvendo o ligeiro nº3 e o potencial de redução se o condutor do motociclo usasse capacete. 79
Tabela 33 – Erros detectados na base de dados de vítimas em acidentes com VDRM em 2007, ANSR. 97

Tabela 34 – Descrição e distribuição de frequência das variáveis independentes. 98
Tabela 35 – Significância estatística e OR (IC de 95%) das variáveis do modelo reduzido. 101
Tabela 36– Descrição e distribuição de frequência das variáveis do modelo reduzido. 102
Tabela 37 – Ajuste do modelo por comparação do modelo completo com o modelo sem as variáveis independentes. 103
Tabela 38 – Testes da Qualidade do Ajuste de Pearson e da Desviância. 103
Tabela 39 – Teste da Força da Associação entre a variável dependente e as independentes (Pseudo R^2). 103
Tabela 40 – Estimativas dos parâmetros. 103
Tabela 41 – Teste das linhas paralelas. 104
Tabela 42 – Classificação dos veículos de acordo com o Código da Estrada. 105
Tabela 43 – Estilos de motociclo. 106
Tabela 44 – Características do motociclo. 107
Tabela 45 – Características do veículo nº 1 e veículo nº2. 109
Tabela 46 – Relação entre o índice AIS e as correspondentes lesões na cabeça. 112
Tabela 47 – Características técnicas dos veículos considerados nas simulações de colisões laterais. 113

Glossário

Abreviaturas

AIS – *Abbreviated Injury Scale.*

ABS – *Anti-lock Braking System* (Sistema anti-bloqueio de rodas numa travagem).

ACAP – Associação Automóvel de Portugal.

ACEM – *Association des Constructeurs Européens de Motocycles*.

ANSR – Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária.

BEAV – Boletins Estatísticos de Acidentes de Viação.

CARE – *Community database on Accidents on the Roads in Europe.*

CBS – *Combined Braking System*

CE – Comissão Europeia.

ERSO – *European Road Safety Observatory*.

ETSC – *European Transport Safety Council*.

EUA – Estados Unidos da América.

Euro NCAP – *European New Car Assessment Programme.*

FMH – Faculdade de Motricidade Humana

GNR – Guarda Nacional Republicana.

HIC – *Head Injury Criterion.*

IC – Intervalo de Confiança.

IDMEC – Instituto de Engenharia Mecânica

INE – Instituto Nacional de Estatística.

IRTAD – *International Road Traffic and Accident Database.*

ITF – *International Transport Forum.*

ISP – Instituto de Seguros de Portugal.

IST – Instituto Superior Técnico.

MAIDS – *Motorcycle Accident In-Depth Study.*

NHTSA – *National Highway Traffic Safety Administration.*

NIAR – Núcleo de Investigação de Acidentes Rodoviários.

OCDE – Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico.

OR – *Odds Ratio* ou razão das chances.

OV – Outro veículo.

PSP – Polícia de Segurança Pública.

SAE – *Society of Automotive Engineers*.

TAS – Taxa de Álcool no Sangue.

UE – União Europeia.

VDR – Veículos de Duas Rodas: velocípedes, ciclomotores e motociclos.

VDRM – Veículos de Duas Rodas Motorizados: ciclomotores e motociclos.

WHO – *World Health Organization*.

Definições de Acidentologia em Portugal

Acidente - Ocorrência na via pública ou que nela tenha origem envolvendo pelo menos um veículo, do conhecimento das entidades fiscalizadoras (GNR e PSP) e da qual resultem vítimas e/ou danos materiais.

Acidente com vítimas - Acidente do qual resulte pelo menos uma vítima.

Acidente mortal - Acidente do qual resulte pelo menos um morto.

Acidente com feridos graves - Acidente do qual resulte o mínimo de um ferido grave, não tendo ocorrido qualquer morte.

Acidente com feridos leves - Acidente do qual resulte pelo menos um ferido leve e em que não se tenham registado vítimas mortais nem feridos graves.

Vítima - Ser humano que em consequência de acidente sofra danos corporais.

Morto/Vítima mortal (no local) - Vítima de acidente cujo óbito ocorra no local do evento ou durante o percurso até à unidade de saúde.

Morto/Vítima mortal a 30 dias - Vítima cujo óbito ocorra no período de 30 dias após o acidente. Em conformidade com o Despacho n.º 27808/2009, de 31 de Dezembro, o número de "Mortos a 30 dias" assume um carácter definitivo no prazo de seis meses após a ocorrência do acidente.

Ferido grave - Vítima de acidente cujos danos corporais obriguem a um período de hospitalização superior a 24 horas.

Ferido leve - Vítima de acidente que não seja considerada ferida grave.

Condutor - Indivíduo que detém o comando de um veículo ou animal na via pública.

Passageiro - Indivíduo afecto a um veículo na via pública e que não seja condutor.

Ocupante - Indivíduo que se encontra no interior de um veículo que transita na via pública.

Peão - Indivíduo que transita na via pública a pé e em locais sujeitos à legislação rodoviária. Consideram-se ainda peões todas as pessoas que conduzam à mão velocípedes ou ciclomotores de duas rodas sem carro atrelado ou carros de crianças ou de deficientes físicos.

Índice de gravidade - Número de vítimas mortais por cada 100 acidentes com vítimas.

Indicador de gravidade - IG = 100xM + 10xFG + 3xFL, em que M é o número de mortos, FG o de feridos graves e FL o de feridos leves.

Ponto negro - Lanço de estrada com o máximo de 200 metros de extensão, no qual se registou, pelo menos, 5 acidentes com vítimas, no ano em análise, e cuja soma de indicadores de gravidade é superior a 20.

Programas Informáticos

PC-CRASH	Programa informático utilizado na reconstituição da dinâmica de acidentes.
SPSS	Programa de análise estatística de dados.

1 Introdução

De ano para ano, o número de acidentes rodoviários ocorridos na UE tem vindo a diminuir significativamente, bem como a sua gravidade. Portugal tem acompanhado esta tendência, certamente consequência das diversas campanhas de sensibilização e a mediatização do problema da segurança rodoviária, empenho de movimentos cívicos em diminuir a sinistralidade rodoviária, melhoria das estradas, maior segurança dos veículos, alterações ao Código da Estrada e agravamento das sanções pecuniárias, entre outras medidas. Porém, nos anos mais recentes e em termos Europeus, Portugal ainda continua a ser um dos países com maior número de vítimas mortais em acidentes com motociclos e ciclomotores, situação que se torna ainda mais preocupante com o previsível aumento do número de Veículos de Duas Rodas Motorizados (VDRM) em circulação nos próximos anos, que pelo crescente aumento dos preços dos combustíveis e a procura de uma mobilidade sustentável se apresentam como uma alternativa atractiva relativamente às restantes classes de veículos.

Portanto, apesar das melhorias significativas da sinistralidade rodoviária em Portugal, revela-se de enorme importância o estudo e compreensão da origem da ocorrência de tão elevado número de acidentes com vítimas envolvendo VDRM e de como reduzir as suas consequências, identificando os factores de risco a que estão sujeitos os condutores deste tipo de veículos e as áreas de actuação prioritárias bem como procurar minimizar a exposição ao risco e aumentar a eficácia do seu equipamento de segurança.

1.1 Motivação

No relatório de 2009 sobre o estado global da segurança rodoviária a Organização Mundial de Saúde constata que as lesões resultantes de acidentes rodoviários constituem um problema de saúde pública e um entrave ao desenvolvimento transversal à grande maioria dos países, prevendo-se que por volta de 2030, caso não sejam tomadas medidas imediatas, os acidentes rodoviários representem a 5ª causa de morte a nível mundial, resultando em cerca de 2,4 milhões de mortes por ano (WHO, 2009). Ainda assim, a realidade internacional, pela interpretação dos dados disponibilizados pelo IRTAD (OECD/ITF, 2011 e 2012), indica uma tendência geral de declínio do número de vítimas mortais, que vem ocorrendo desde 1970, verificando-se a maior redução anual média deste indicador entre 2000 e 2010. Em 2010, vários países, como é o caso dos EUA, atingiram mesmo o número de mortes mais reduzido dos últimos 50 anos. A esta evolução está certamente associada a contribuição favorável das medidas de segurança rodoviária que têm vindo a ser aplicadas, mas também a influência da recessão económica verificada nos meados da última década, reflectida na redução do tráfego rodoviário e que suscita a incerteza sobre o desenvolvimento dos indicadores de sinistralidade quando ocorrer a retoma económica.

O progresso atingido nos últimos dez anos no que diz respeito à segurança rodoviária não é no entanto extensível a todos os utilizadores das estradas, uma vez que a grande maioria das fatalidades ocorre entre aqueles que são considerados os utentes da estrada vulneráveis, ou seja,

peões e condutores de VDR (WHO, 2009), sendo o respectivo risco de morte num acidente rodoviário elevado, dada a sua elevada exposição que também se traduz na consequente facilidade em sofrerem lesões graves e incapacitantes, relativamente aos condutores e passageiros de veículos automóveis. A situação Nacional é paradigmática, tendo-se conseguido em Portugal passar de um aumento anual médio de 4,9% no número de vítimas mortais em acidentes rodoviários na década de 70, para a maior redução global no número de mortes (-55%) no período 2000-2009 entre todos os países analisados pelo IRTAD. Verificou-se que a maior redução no número de vítimas mortais entre 1990 e 2010 pertenceu aos condutores de ciclomotores (-90%), seguidos pelos peões (-74%) e ciclistas (-73%), porém, no grupo dos motociclistas o número de vítimas mortais aumentou 59% no mesmo período (OECD/ITF, 2011 e 2012). Recorrendo à base de dados CARE (CARE, 2010) para uma avaliação mais rigorosa da evolução de Portugal entre congéneres Europeus, aos dados demográficos do Eurostat (Eurostat, 2011) e do INE (INE, 2011) para Portugal, apresenta-se na Figura 1.1 a evolução do número de vítimas mortais em acidentes com VDRM por milhão de habitantes entre 2000 e 2009, nos países pertencentes à UE desde 1995 (excluindo o Luxemburgo devido aos valores reduzidos de população e vítimas mortais que resultam em oscilações muito acentuadas para pequenas variações do número de mortos), sendo ainda incluídos os dados de sinistralidade disponíveis relativos ao ano de 2010.

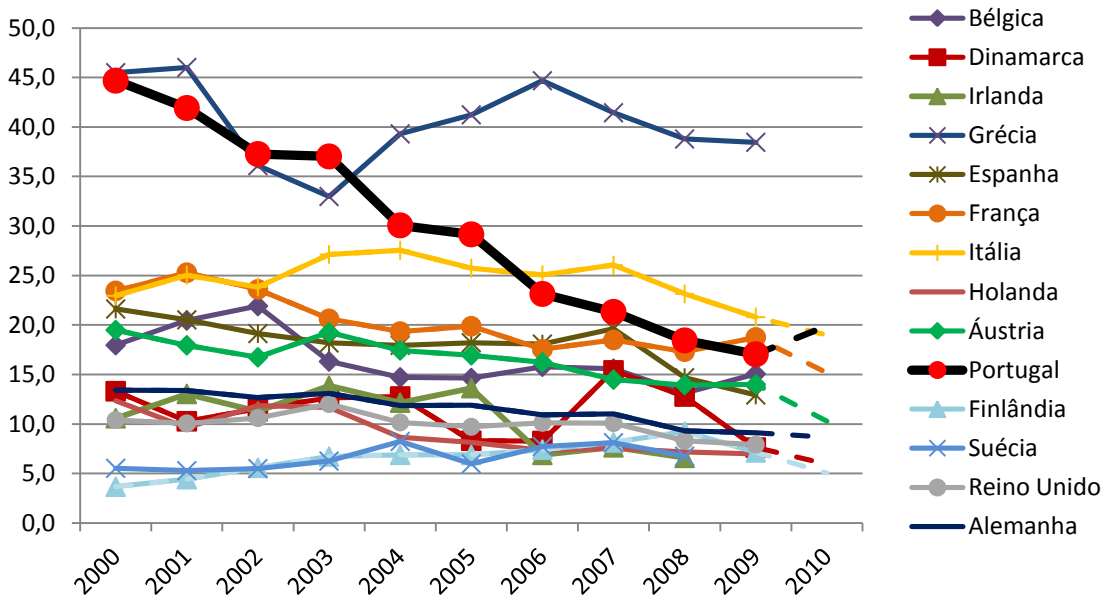


Figura 1.1 – Vítimas mortais em acidentes com VDRM na UE a 15 (sem Luxemburgo) por milhão de habitantes de 2000 até 2010.

Esta nova perspectiva da sinistralidade com VDRM permite concluir que, apesar da significativa redução no número de vítimas mortais, em 2009, Portugal constitui um dos casos mais graves, sem conseguir descolar da cauda da Europa, estando quase ao mesmo nível de países de dimensão muito superior, como a França e Itália, pior que a Espanha e apresentando apenas a Grécia taxas de mortalidade destacadamente superiores. Para além do número de mortes em acidentes com VDRM continuar a ser comparativamente elevado, uma realidade preocupante é o facto de, mesmo notando-

se uma estabilização generalizada, ainda se verificar a redução do número de vítimas mortais em países da UE em 2010, enquanto que em Portugal ocorre o aumento deste número. Particularizando a análise anterior para os acidentes com motociclos mas excluindo além do Luxemburgo, os países que para fins estatísticos não diferenciam os ciclomotores dos motociclos, nomeadamente, Irlanda e Reino Unido (ERSO, 2008), verifica-se que a evolução do número de vítimas mortais por milhão de habitantes segue aproximadamente a mesma tendência observada na Figura 1.1, o que era expectável uma vez que a maior contribuição para o número de vítimas mortais em acidentes com VDRM nos países considerados é dada pelos motociclos, que em 2009 representam 79,9% das mortes ocorridas entre utilizadores de VDRM e 72,6% das vítimas mortais, em termos médios, no período 2000-2009 (CARE, 2010). No entanto, apesar do número de vítimas mortais em acidentes com ciclomotores ser inferior em relação aos acidentes com motociclos nos países referidos e da sua redução ter sido generalizada na UE no período 2000-2009, verifica-se a partir da Figura 1.2 (fonte: CARE, 2010) que a situação em Portugal relativamente a esta categoria de VDRM também tem sido preocupante. Apesar da redução na mortalidade ocorrida na última década, esta é constantemente superior à mortalidade verificada nos restantes países, ocorrendo mesmo em 2010 um aumento do número de vítimas mortais em Portugal.

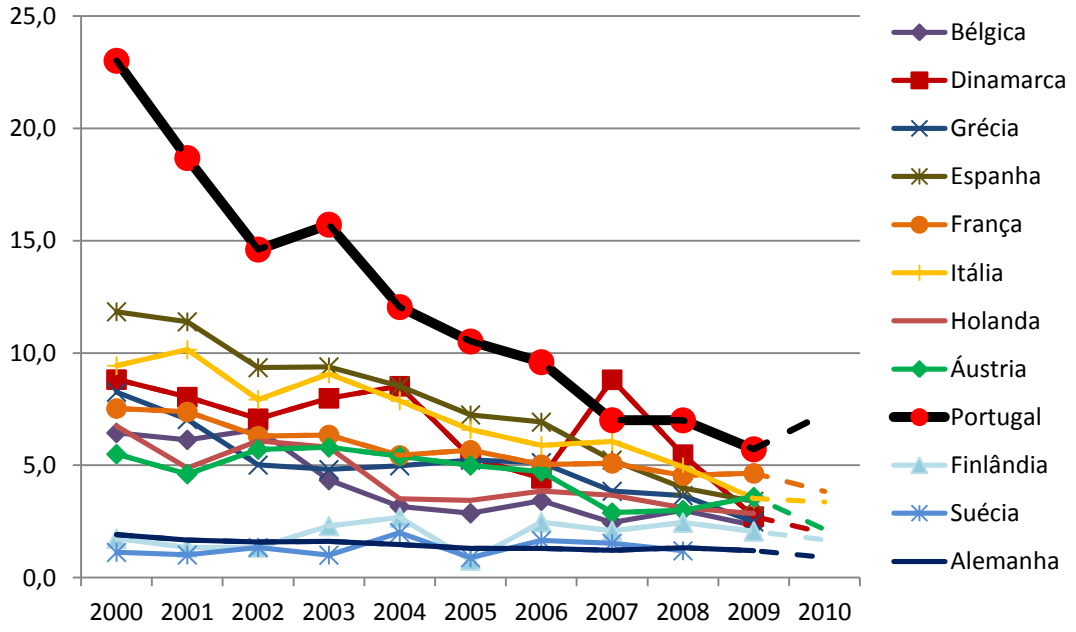


Figura 1.2 – Vítimas mortais em acidentes com ciclomotores por milhão de habitantes na UE a 15 (sem, Luxemburgo, Reino Unido e Irlanda) de 2000 até 2010.

Só no ano de 2010 ocorreram em Portugal 35426 acidentes rodoviários com vítimas (menos 0,2% que em 2009), das quais 741 são vítimas mortais, o que corresponde a um aumento de 0,5% em relação a 2009 e cerca de 24% destas mortes correspondem a condutores e passageiros de VDRM (ANSR, 2010). Os motociclos destacam-se ainda em 2010 como o tipo de veículo que apresenta o maior rácio de vítimas mortais por cada 100 vítimas de acidente, por categoria de meio de transporte, como se pode observar na Figura 1.3 (fonte: ANSR, 2010), superando mesmo os veículos ligeiros, apesar do número de motociclos em circulação ser bastante inferior.

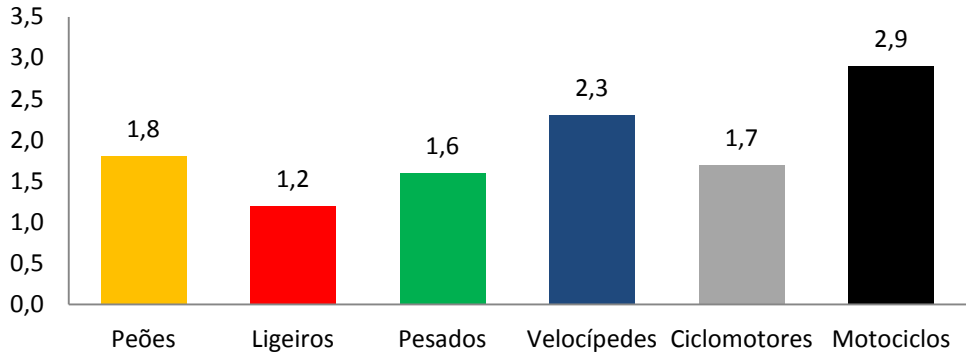


Figura 1.3 – Vítimas mortais por cada 100 vítimas de acidente em 2010, por veículo, em Portugal.

Conclui-se portanto que a mortalidade em acidentes com VDRM é um problema da generalidade dos países analisados, mas que em Portugal e sem contabilizar os feridos graves, a condução destes veículos se revela uma actividade potencialmente perigosa, sendo prioritário promover a aproximação aos países da União Europeia com melhores resultados, desenvolvendo e adoptando novas medidas de segurança rodoviária específicas para os seus utilizadores. Trata-se de uma realidade que acarreta consigo elevadíssimos custos, tendo-se do trabalho de Donário e Santos (2012) uma estimativa do custo económico e social dos acidentes rodoviários em Portugal entre 1996 e 2010 de cerca de 37 549 milhões de euros e do valor médio anual deste custo em cerca de 2 503,3 milhões de euros, para os quais os acidentes com vítimas mortais contribuíram com cerca de 35% o que por sua vez permite extrapolar para 2010, ano em que 24% das mortes em acidentes correspondem aos VDRM, um custo de 210,3 milhões de euros associado aos acidentes mortais com estes veículos. Em termos de custos humanos, estes são irreparáveis.

Através da análise estatística da sinistralidade rodoviária é possível determinar padrões e identificar os factores determinantes na ocorrência e gravidade de acidentes, no caso concreto, com VDRM. A investigação aprofundada destes acidentes recorrendo a métodos científicos e nomeadamente, a aplicação de modelos computacionais, permite aumentar o conhecimento neste campo específico, de maneira a avaliar tendências, isolar os problemas e áreas de actuação prioritária, sendo esta a base para o desenvolvimento de medidas eficazes para aumentar a segurança dos seus ocupantes e representando de tal forma uma necessidade real que se encontra presentemente a ser desenvolvido pela OCDE um guia para investigações aprofundadas de acidentes com VDRM, no sentido de formalizar procedimentos de investigação e uniformizar a informação para posterior comparação entre os vários países membros.

1.2 Revisão Bibliográfica

A aplicação de métodos estatísticos especializados na análise dos factores que contribuem para influenciar um determinado fenómeno tem sido recorrente no domínio da economia, ciências sociais e biomédicas, entre outras, verificando-se também em diversos trabalhos internacionais a realização de análises semelhantes no âmbito da sinistralidade rodoviária. No que diz respeito a trabalhos anteriormente realizados em Portugal, da pesquisa realizada não são conhecidas

investigações etiológicas relativas a acidentes com VDRM e respectivo risco de acidente ou gravidade de lesões. Mesmo em relação à sinistralidade rodoviária em geral apenas foi encontrada uma referência recente de um trabalho realizado nos moldes descritos anteriormente (Simão, 2010), mas focada não em factores de risco ou gravidade de lesões, mas na análise de indicadores de sinistralidade recorrendo a modelos de regressão linear múltipla, de forma a avaliar a eficácia das políticas de segurança rodoviária em Portugal, entre 1987 e 2007.

Na maioria dos trabalhos internacionais que abordam a problemática da sinistralidade rodoviária são aplicadas técnicas estatísticas que permitem aumentar o nível de certeza no processo de identificação das causas da ocorrência de acidentes e lesões e no âmbito dos VDRM. As principais referências para a realização do presente trabalho, pelas semelhanças em termos de origem e formato das bases de dados de sinistralidade rodoviária a analisar, métodos estatísticos aplicáveis e objectivos de investigação são os trabalhos realizados por Yau (2004), dedicado à determinação dos factores que influenciam a gravidade dos acidentes envolvendo veículos isolados, entre os quais motociclos, ocorridos em Hong Kong, através da aplicação de um modelo de regressão logística, resultando que os principais factores de risco de lesões graves em caso de acidente isolado com motociclo são a idade do veículo (entre 5 e 9 anos), dia da semana (Sexta-feira a Domingo) e hora do acidente (das 20h00 a 23h59 e 8h00 a 11h59) e por Albalate e Fernández-Villadangos (2010), em que se pretendeu investigar o papel do tipo de veículo e congestionamento na gravidade das lesões em acidentes com VDRM em Barcelona aplicando a regressão logística multinomial ordinal, revelando a importância de factores como o género da vítima, excesso de velocidade, largura da via e consumo de álcool e um risco de ocorrência de lesões graves, respectivamente, para um ocupante de motociclo e de ciclomotor 2,3 e 1,8 vezes maior relativamente aos outros veículos. Verificaram ainda que o congestionamento diminui as probabilidades de ocorrência de lesões graves, apesar deste resultado ser estatisticamente significativo apenas para as vítimas de acidentes com motociclos.

Para além das referências enunciadas anteriormente, no que diz respeito ao suporte teórico para a realização das análises estatísticas para determinar os principais factores que influenciam a gravidade das lesões dos condutores de VDRM vítimas de acidente em Portugal, a investigação desenvolvida nesta dissertação recorreu a Hosmer e Lemeshow (2000), Pallant (2001), Norusis (2004), Pina (2005), Field (2005), O'Connell (2006), Agresti (2007) e Pereira (2008) como principais elementos de consulta orientadores e partir dos quais resultou a escolha fundamentada da regressão ordinal como o método a aplicar. O artigo de Chen e Hughes (2004) ainda que relativo à utilização do método de regressão ordinal para modelar a relação entre os níveis de satisfação de estudantes e variáveis explicativas como o género do aluno ou actividades de lazer disponíveis, também se revelou essencial e de enorme utilidade pela descrição detalhada do método de construção e avaliação do modelo de regressão ordinal.

Numa investigação desta natureza é essencial aprofundar os conhecimentos sobre os factores de risco que influenciam a gravidade das lesões em vítimas de acidentes com VDRM, tratando-se de um processo exaustivo, mas que permite maximizar a validade dos modelos estatísticos

considerados e das respectivas estimativas, definindo-se correctamente os dados a utilizar e as hipóteses estatísticas a analisar.

A condução sob o efeito do álcool é um problema de segurança rodoviária globalmente reconhecido, estando devidamente identificados os efeitos prejudiciais no controlo de um veículo, como a diminuição da concentração, do campo visual, dos reflexos, aumento do tempo de reacção e criação de um falso estado de euforia e sobrevalorização das capacidades (Nilsson, 2004 e National Institutes of Health US, 2007). No caso específico da condução de motociclos Ouellet e Kasantikul (2006) concluíram que os condutores com uma TAS superior a 0,5 g/l são mais susceptíveis de se envolver em despistes, valor de TAS para o qual Creaser *et al*. (2009) detectaram o aumento do tempo de reacção. A cannabis e outras substâncias psicotrópicas também afectam o funcionamento cerebral ao nível da percepção, atenção, equilíbrio e coordenação (Institute of Alcohol Studies, 2009 e National Institute on Drug Abuse, 2010), mas o seu papel como um factor causal nos acidentes ao contrário das bebidas alcoólicas é equívoca segundo Bates e Blakely (1999), Fergusson e Horwood (2001) e Begg, Langley e Stephenson (2003), podendo ser confundido com a propensão para comportamentos de risco entre os seus utilizadores.

No que diz respeito aos acidentes rodoviários, os condutores novos são considerados um grupo de risco elevado, pela sua falta de experiência e habilidade. Porém, a inexperiência não será a única explicação que diferencia os condutores novos dos restantes para a ocorrência de acidentes como referido por Wong, Chung e Huang (2010) que concluíram que os traços de personalidade têm um impacto significativo na condução pelos motociclistas novos e que se traduz na prática de uma condução perigosa e tendo Bina, Graziano e Bonino (2006) detectado o excesso de velocidade como a principal infracção cometida entre os condutores de VDRM adolescentes estudados. A percepção dos riscos é apontada por vários autores como a principal característica diferenciadora dos condutores novos e inexperientes dos condutores mais velhos e explicativa do risco associado aos condutores novos (e.g., Liu, Hosking e Lenné, 2009 e Hosking, Liu e Bayly, 2010). A influência da experiência também é revelada nos resultados obtidos por Crundall *et al*. (2008) e Magazzù, Comelli, e Marinoni (2006) de acordo com os quais os condutores com experiência de condução tanto de automóvel como de motociclo têm menor probabilidade de colidir com motociclos quando conduzem automóveis.

Uma diferença de género no risco de acidentes graves é apontado por Harris e Jenkins (2006) devido à maior percepção do risco e menor propensão para a prática de manobras perigosas por parte das mulheres, que resulta em acidentes de menor gravidade que no caso masculino, tendo Fuller *et al*. (2008) verificado também que os homens tipicamente conduzem a velocidades maiores que as mulheres e têm mais acidentes mortais por quilómetro percorrido. De acordo com Crundall *et al.* (2008) os homens são responsáveis por um maior número de infracções e as mulheres estão mais relacionadas com erros de condução.

A relação entre a velocidade de circulação dos veículos e a gravidade das lesões em caso de acidente está bem patente na literatura (e.g. Aarts e van Schagen, 2006; Fuller *et al*., 2008 e Broughton *et al*., 2009) e no caso específico dos motociclos, descrita por Pang *et al*. (2000), sendo que a velocidades elevadas, a probabilidade de ocorrer um acidente e das suas consequências

serem graves aumenta. Pang *et al*. (2000) sugerem ainda que o facto de a circulação a velocidades elevadas aumentar tanto o risco de envolvimento num acidente como o de sofrer lesões graves pode explicar a razão de os motociclos de maior cilindrada estarem significativamente associados a maior risco de morte, traduzindo-se a maior capacidade destes motociclos em maiores velocidades atingidas e como consequência, maiores forças no impacto.

Em diversos artigos científicos está patente a evidência de que o capacete é o principal equipamento de segurança à disposição dos utilizadores de VDRM, reduzindo a incidência e gravidade de lesões na cabeça, bem como o risco de morte (Lin e Kraus, 2009) depreendendo-se ainda dos trabalhos realizados por DeMarco *et al*. (2010), Pinnoji e Mahajan (2010) e (Paulino, 2008), que os capacetes reduzem a frequência e gravidade das lesões na cabeça através da atenuação da aceleração do cérebro e ao distribuir a força de impacto sobre uma área maior do que sem capacete. A investigação tem vindo a mostrar que algumas lesões no corpo das vítimas de acidentes com VDRM podem ser reduzidas ou prevenidas utilizando outros equipamentos de protecção, nomeadamente vestuário de protecção (ACEM, 2009), sendo as lesões leves resultantes de colisões e deslizes no solo as que o vestuário de protecção prevenirá (Lin e Kraus, 2009).

Conspicuidade pode ser definida como a capacidade de um determinado objecto se evidenciar e no caso concreto dos VDRM, de ser perceptível para os condutores dos restantes veículos. A reduzida conspicuidade dos VDRM é um factor importante associado ao risco de acidente com estes veículos, tal como é referido por Wells *et al*. (2004) e que resulta do tamanho do motociclo, contorno irregular, reduzido contraste em relação ao ambiente de fundo e capacidade de circular em locais inesperados entre o fluxo de trânsito. Verificou-se que o uso de vestuário reflector ou fluorescente, capacetes brancos ou de cores claras e luzes ligadas durante o dia podem reduzir seriamente as lesões e mortes em acidentes com motociclos. Em experiências realizadas por Langham *et al*. (2002) os resultados sugerem que os acidentes resultantes de olhar mas não ver os veículos em possível conflito, neste caso, os VDRM, podem ter razões cognitivas como a falha de vigilância ou falsa expectativa sobre as condições da estrada (NHTSA, 2000a e Clarke *et al*., 2004).

A análise estatística permite identificar um problema existente numa dada população, como é o caso dos acidentes graves com VDRM e monitorizar a sua evolução, mas com a investigação aprofundada dos acidentes é possível analisar aspectos omissos na análise estatística e desenvolver/apontar soluções fundamentadas. O relatório MAIDS (ACEM, 2009) continua a representar actualmente a maior investigação aprofundada de acidentes com VDRM realizada na Europa, apesar de já ter sido realizado no período 1999-2000. O seu objectivo foi o de criar uma base de dados abrangente e representativa da Europa Ocidental, de maneira a aumentar o conhecimento sobre a natureza e causas dos acidentes com VDRM e definir procedimentos específicos para a sua investigação aprofundada (ACEM, 2003). Foi aplicada uma metodologia comum de investigação desenvolvida pela OCDE (baseada por sua vez nas metodologias desenvolvidas por Hurt, Ouellet e Thom (1981) na única investigação aprofundada de acidentes com motociclos realizada nos EUA), tendo sido investigados ao pormenor 921 acidentes ocorridos em França, Itália, Holanda, Alemanha e Espanha por equipas multidisciplinares, comparando-se os dados obtidos com dados de uma amostra de condutores não envolvidos em acidentes dentro da mesma região analisada de forma a

identificar os principais factores de risco. Entre as principais conclusões do relatório MAIDS destaca-se que os veículos ligeiros constituem o principal parceiro de colisão dos VDRM, que a causa da maioria dos acidentes com VDRM se deve à não percepção dos VDRM por parte dos condutores de outros veículos e que os condutores de outros veículos com habilitação de condução de VDRM apresentaram uma menor probabilidade de cometer erros de percepção (ACEM, 2009). Apesar de trabalhos mais recentes como os citados anteriormente apontarem para a influência da velocidade e também da categoria de motociclo na ocorrência e gravidade dos acidente, no relatório MAIDS conclui-se que a cilindrada do motor e a velocidade não são factores de risco de acidentes com motociclos (ACEM, 2009), mas sobre estes resultados Mattson e Heikki (2010) apontam que a dimensão reduzida da amostra de acidentes fatais utilizada poderá ter contribuído para a não detecção de um efeito estatisticamente significativo que na verdade existe.

Pela sua complexidade, grande conjugação de meios e pessoas envolvidas, o número de investigações aprofundadas de acidentes existentes, como é o caso do relatório MAIDS, é reduzido. Porém, nesta mesma área foi realizado em Londres por Clarke *et al*. (2004), um trabalho dedicado aos acidentes com motociclos que aplica uma metodologia semelhante à desenvolvida no relatório MAIDS, mas assente em reconstituições completas dos acidentes a partir da informação fornecida pela polícia local e fazendo uma interpretação mais qualitativa da sequência do acidente do que estatística. As conclusões obtidas complementam as do relatório MAIDS, uma vez que dizem respeito ao grau de culpa dos motociclistas nos acidentes ocorridos, tendo-se verificado que o problema da não percepção dos motociclos por parte dos condutores de outros veículos verifica-se principalmente em cruzamentos, estando frequentemente envolvidos condutores mais velhos, com uma experiência de condução relativamente elevada; que a origem de grande parte dos acidentes com motociclos ocorre durante a realização de curvas, ultrapassagens ou circulação entre os outros veículos e concluindo-se ainda que as intervenções ao nível da segurança rodoviária devem estar concentradas nos condutores mais novos de motociclos de menor cilindrada e nos condutores de motociclos de elevada cilindrada mais velhos e experientes.

A investigação actual relativa aos VDRM foca-se principalmente em testes da eficácia de dispositivos de segurança como capacete ou *airbag*, verificando-se frequentemente uma metodologia comum que consiste na simulação computacional de situações de impacto em que se inclui o referido dispositivo num modelo do corpo humano ou do veículo conforme a situação e posteriormente se avaliam os índices de lesão em zonas definidas do corpo humano, como a cabeça ou o tórax e para os quais estão estabelecidos os limites a partir dos quais se determina a gravidade das lesões resultantes. Neste âmbito a ferramenta computacional mais utilizada é o programa Madymo que possibilita a utilização de modelos biomecânicos detalhados caracterizados por uma diversidade de parâmetros de lesão mensuráveis, além da conjugação dos modelos de corpos múltiplos com elementos finitos, aumentando o detalhe em termos estruturais do sistema (Orozco, 2006). No entanto, o maior detalhe e precisão dos resultados torna estes modelos muito mais complexos, excedendo o tempo de computação dos modelos multi-corpo, implementados nomeadamente no programa PC-Crash e que conseguem reproduzir de forma fiel o movimento do corpo humano.

Na análise de impacto do corpo humano pode-se referir como exemplos a análise de colisões entre motociclo e a lateral de um veiculo ligeiro realizadas por Mukherjee *et al*. (2001) ou Deguchi (2005) para validação dos modelos de motociclo e ligeiro desenvolvidos recorrendo a modelos de corpos múltiplos e elementos finitos e comparando os resultados obtidos nas simulações computacionais com testes de impacto reais ou também, no mesmo âmbito, mas para validação de tecnologias de simulação computacional para determinação de níveis de lesão resultantes de impactos no solo e desempenho de um sistema de airbag para motociclo, o trabalho de Namiki, Nakamura e Iijima (2005). Outro exemplo de aplicação é trabalho realizado por Guo *et al*. (2008) no âmbito da biomecânica forense em que se recorreu à reconstituição computacional de dois acidentes típicos entre motociclo com dois ocupantes e veículo ligeiro para caracterizar as lesões envolvidas de forma a confirmar qual dos ocupantes era o condutor do veículo.

1.3 Objectivos e organização

O principal objectivo desta tese foi desenvolver a investigação aprofundada de acidentes com VDRM em Portugal dado tratar-se de um problema contínuo e claramente identificado, recorrendo numa primeira fase à análise estatística dos dados de sinistralidade recolhidos pela ANSR para enquadrar o problema, mas não só num sentido exploratório, como abordando métodos estatísticos que possibilitam correlacionar as potenciais variáveis de risco e a medida da sua associação, nomeadamente, através da aplicação do método de regressão ordinal recorrendo ao programa de análise estatística SPSS, quantificando desta forma o problema dos acidentes graves através da identificação dos potenciais factores de risco associados e numa segunda fase aplicar metodologias de investigação aprofundada de acidentes a acidentes reais envolvendo VDRM recorrendo a modelos computacionais integrados no programa PC-Crash no sentido de identificar outros factores determinantes na gravidade das lesões dos condutores de VDRM vítimas de acidente inacessíveis a partir da análise dos dados estatísticos e caracterizar a severidade das lesões resultantes. O objectivo último foi contribuir para fornecer informação útil sobre como o veículo, os factores humano, ambiental, geográfico e o tipo de acidente afectam a gravidade das lesões dos condutores de VDRM vítimas de acidente em Portugal e estabelecer uma base para formular planos de prevenção sustentáveis e medidas apropriadas e direccionadas para as características particulares dos VDRM e vulnerabilidade dos seus condutores, que produzam resultados eficazes.

Em termos de estrutura o trabalho realizado encontra-se organizado do seguinte modo:

Capítulo 2 – Análise estatística dos acidentes com VDRM

Neste capítulo procedeu-se à análise retrospectiva dos dados de sinistralidade rodoviária disponibilizados pela ANSR relativos a vítimas entre utilizadores de VDRM com foco no período 2007-2010. Enquadrado o problema da gravidade dos acidentes com VDRM em Portugal, procedeu-se a uma primeira abordagem na aplicação da regressão logística ordinal utilizando o *software* de análise estatística de dados SPSS para identificar os factores de risco que influenciam a gravidade das lesões sofridas pelos condutores de VDRM em caso de acidente.

Capítulo 3 - Modelos computacionais e respectivo fundamento teórico

Neste capítulo são abordados os conceitos teóricos subjacentes à utilização de programas como o PC-Crash, nomeadamente de conservação de momento e dinâmica de corpos múltiplos.

Capítulo 4 - Investigação aprofundada de acidentes com VDRM

Neste capítulo expõe-se a metodologia aplicada na investigação e reconstituição computacional de acidentes com VDRM aplicada utilizando o programa PC-Crash, os seus resultados principais e respectiva discussão, bem como dois exemplos de aplicação destes procedimentos.

Capítulo 5 - Simulação computacional de colisões laterais com VDRM

Neste capítulo apresentam-se os conceitos relacionados com a biomecânica do impacto e a sua aplicação na análise de impacto entre um motociclo e respectivo condutor e a lateral de veículos ligeiros seleccionados de acordo com a sua massa e altura e fazendo variar o ângulo e velocidade de impacto recorrendo ao programa PC-Crash, com o objectivo de caracterizar o nível de lesão na cabeça do condutor nesta configuração de colisão. Realizou-se ainda uma estimativa da deformação do motociclo e da potencial redução da severidade das lesões se o condutor utilizasse capacete.

Capítulo 6 - Recomendações relativas aos acidentes com VDRM em Portugal

Neste capítulo apresenta-se um conjunto de medidas consideradas prioritárias para a redução da gravidade dos acidentes com VDRM em Portugal, com base no trabalho realizado até este ponto.

Capítulo 7 - Conclusões e propostas para estudos futuros

Neste capítulo são apresentadas as conclusões relativas ao trabalho realizado e sugestões de pontos importantes verificados na realização do presente trabalho relacionados quer com limitações quer com oportunidades e que podem ser abordados em estudos posteriores.

2 Análise estatística dos acidentes com VDRM

Procedeu-se a uma análise retrospectiva dos acidentes com vítimas entre os condutores e passageiros de VDRM com foco no período 2007-2010, relativo ao qual foi utilizada a respectiva base de dados cedida pela ANSR, enquadrando-se ainda a realidade e evolução da sinistralidade rodoviária com estes veículos em Portugal desde o ano de 1998 até 2010, tendo como suporte os correspondentes relatórios também elaborados pela ANSR (ANSR, 2011). A partir da análise estatística dos acidentes com VDRM realizada nesta primeira fase e recorrendo a trabalhos científicos para distinguir os principais factores de risco associados aos acidentes com estes veículos e os métodos estatísticos aplicados em análises semelhantes pretendeu-se identificar os factores de risco que influenciam a gravidade das lesões sofridas pelos condutores de VDRM em caso de acidente.

Na análise dos dados cedidos pela ANSR, respeitantes ao período 2007-2010, foram detectadas várias incongruências no registo efectuado pelas autoridades policiais no que diz respeito às vítimas de acidente com VDRM, tendo-se excluído estes registos da base de dados de forma a não afectarem as análises realizadas. Entre os erros detectados e que se apresentam organizados no Anexo I (ver Tabela 33) encontra-se, por exemplo, a indicação de um condutor de ciclomotor, ferido leve, com carta de condução adequada ao veículo, mas com 9 anos de idade.

Toda a análise realizada e procedimentos aplicados encontram-se expostos de forma detalhada em relatório próprio (Bernardo e Dias, 2012a), procurando-se evidenciar de seguida os principais resultados obtidos.

2.1 Acidentes com VDRM em Portugal

No panorama Nacional constata-se que os veículos ligeiros têm predominado de forma sistemática e em termos absolutos no número de vítimas em todos os acidentes ocorridos desde 1998 até 2010, tal como é ilustrado pela Tabela 1 (fonte: ANSR, 2011).

Tabela 1 – Número total de vítimas em acidentes rodoviários ocorridos em 1998 e 2010.

	Número total de vítimas		
Veículos	1998	**Variação 98-10**	2010
Ligeiros	35624	-12,1%	31330
Pesados	1464	-43,7%	824
Velocípedes	1670	-26,9**%**	1220
Ciclomotores	14179	-73,6%	3739
Motociclos	5893	-34,4**%**	3864
Peões	9052	-34,1%	5964
Outros	586	-38,4%	361
Total	68468	-30,9%	47302

A Tabela 1 também permite verificar que a maior redução no número de vítimas ocorreu nos acidentes com ciclomotores, convergindo para valores aproximados aos dos motociclos, sendo que a

menor diferença de valores pertence aos acidentes com veículos ligeiros. Ainda assim, a ocorrência do maior número de acidentes com vítimas não é reveladora da sua gravidade, verificando-se a partir da análise do número de mortos por cada 100 acidentes com vítimas (índice de gravidade), para cada categoria de veículo, apresentada na Figura 2.1 (fonte: ANSR, 2011[1]), que é aos utilizadores de motociclos que está associado, em 2010, um potencial risco de morte mais elevado em acidentes e que não revela uma tendência clara de diminuição, devido à evolução registada nos últimos anos.

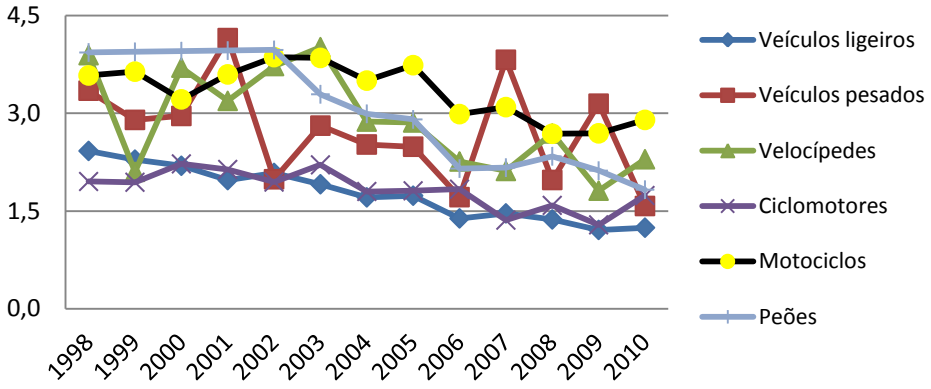


Figura 2.1 – Vítimas mortais por cada 100 acidentes com vítimas, 1998 – 2010, Portugal.

Este facto coloca os condutores e passageiros de motociclos, mesmo entre os VDRM, num grupo particular de utentes da estrada vulneráveis em que o único elemento de protecção efectiva que possuem é o capacete (Paulino, 2008). Os acidentes envolvendo ciclomotores têm apresentado dos menores índices de gravidade em comparação com os restantes veículos em Portugal, verificando-se no entanto um aumento em 2010. De seguida desenvolve-se a análise relativa ao período 2007-2010 recorrendo à base de dados cedida pela ANSR, discriminando os factores relacionados com os veículos, factor humano, factores ambientais e geográficos, com o objectivo último de isolar a natureza do acidente e estabelecer qual o tipo de acidente envolvendo VDRM mais frequente e com maiores índices de sinistralidade.

2.1.1 Factor veículo

Em termos absolutos, os motociclos são o veículo que em 2010 e depois dos veículos ligeiros mais contribuiu para o número de mortes nas estradas Portuguesas, tendo perdido a vida 112 pessoas, o que representa um aumento de 9,8% em relação a 2009 (ANSR, 2010). A Figura 2.2 corresponde aos gráficos ilustrativos da análise do número de mortos e de feridos graves por cada 1000 veículos em circulação entre 2007 e 2010, elaborados utilizando a base de dados de acidentes com VDRM cedida pela ANSR e os dados de sinistralidade relativos aos restantes veículos presentes nos respectivos relatórios da ANSR (ANSR, 2011), conjugados com os dados do parque automóvel seguro disponibilizados pelo ISP (ISP, 2012) que corresponde ao indicador mais aproximado do

[1] O relatório de sinistralidade rodoviária de 2010 elaborado pela ANSR ainda aplica o conceito de "Morto/Vítima mortal (no local) ".

número de veículos em circulação, cobrindo o mesmo período temporal e relativo, tal como os dados da ANSR, apenas a Portugal Continental.

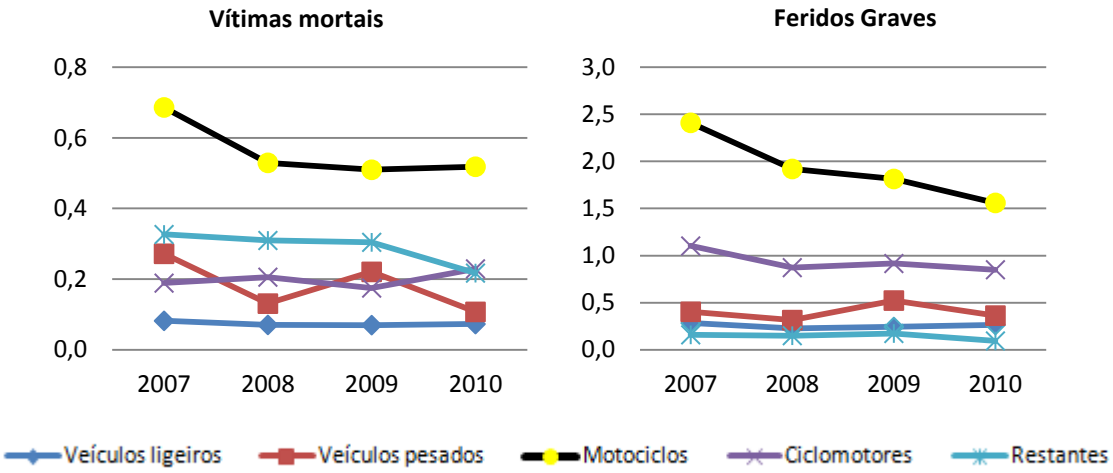


Figura 2.2 – Vítimas mortais e feridos graves por cada 1000 veículos em circulação, 2007 – 2010.

A principal observação prende-se com a sobre representação dos motociclos nos acidentes fatais ou dos quais resultem lesões graves em todo o período de tempo considerado, apesar de constituírem um conjunto minoritário entre os veículos motorizados em circulação em Portugal, enquanto que aos veículos ligeiros correspondem os menores valores de vítimas mortais relativamente aos veículos em circulação, verificando-se uma situação aproximada no que diz respeito aos feridos graves, o que sugere uma probabilidade superior de ocorrer um acidente grave com motociclos do que com veículos ligeiros. Uma análise ponderada recorrendo à estimativa dos quilómetros percorridos por veículo, que não é feita em Portugal, seria essencial para avaliar de uma forma mais rigorosa o risco de utilização de cada tipo de veículo.

As análises da variação do número de vítimas mortais e feridos graves em acidentes por categoria de VDRM são expressas, respectivamente, na Tabela 2 e na Tabela 3, verificando-se que após uma redução global entre 2007 e 2008, ocorre em 2009 um aumento repentino e bastante elevado destes índices em cerca de 89,5% e 46,8% para os motociclos com mais de 50 cm^3 e potência limitada a 25 kW ou relação potência/peso inferior a 0,16 kW/kg, o que constitui uma alteração do padrão de sinistralidade verificado em anos anteriores, em que os piores resultados aparecem associados aos motociclos com cilindrada superior a 50 cm^3 e potência não limitada e aos ciclomotores, o que aliás sucede em 2010.

Tabela 2 – Vítimas mortais por categoria de VDRM entre 2007 e 2010.

Categoria de VDRM	Vítimas mortais						
	2007	**Variação 07-08**	2008	**Variação 08-09**	2009	**Variação 09-10**	2010
Ciclomotor	62	0,0%	62	-19,4%	50	30,0%	65
Motociclo>50cm^3 não limitado	87	-11,5%	77	-27,3%	56	33,9%	75
Motociclo>50 cm^3 limitado	31	-38,7%	19	**89,5%**	36	**-16,7%**	30
Motociclo≤50 cm^3	9	-33,3%	6	66,7%	10	-30,0%	7
Total	189	-13,2%	164	-7,3%	152	16,4%	177

Tabela 3 – Feridos graves por categoria de VDRM entre 2007 e 2010.

Categoria de VDRM	Feridos graves						
	2007	**Variação 07-08**	2008	**Variação 08-09**	2009	**Variação 09-10**	2010
Ciclomotor	362	-27,4%	263	0,4%	262	-8,0%	241
Motociclo>50cm^3 não limitado	250	-21,6%	196	-27,0%	143	9,1%	156
Motociclo>50 cm^3 limitado	141	-12,1%	124	**46,8%**	182	**-24,7%**	137
Motociclo≤50 cm^3	55	-9,1%	50	-24,0%	38	10,5%	42
Total	808	-21,7%	633	-1,3%	625	-7,8%	576

A magnitude da alteração na variação do número de vítimas mortais e feridos graves em acidentes com VDRM verificada anteriormente suscitou a hipótese de uma relação com a entrada em vigor a 14 de Agosto de 2009 da Lei nº 78/2009 (Diário da República, 2009), que permite que os titulares de carta de condução B possam conduzir motociclos com cilindrada até 125 cm^3 e potência limitada a 11 kW, o que teria impulsionado as vendas destes veículos, por antecipação do mercado, em 2008. Do gráfico da Figura 2.3, realizado de acordo com a base de dados de vendas de motociclos entre 2007 e 2009 cedida pela ACAP e com as bases de dados relativas a 2010 (ACAP, 2011) disponibilizadas pela mesma entidade (vendas de motociclos com cilindrada inferior a 50 cm^3 e de ciclomotores consideradas em conjunto), constata-se uma continuação da tendência de redução de vendas de motociclos em Portugal, com a excepção verificada precisamente entre 2008 e 2009, em que houve um aumento de cerca de 24% no sector dos motociclos de cilindrada superior a 50 cm^3, continuado na passagem para 2010, neste caso correspondendo a um aumento de 41,2%.

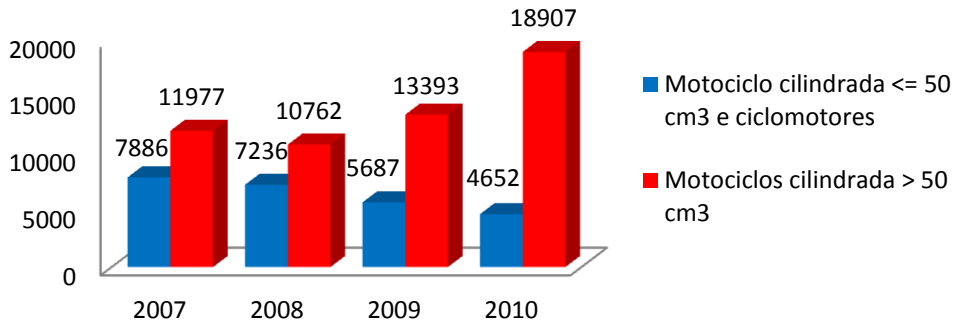


Figura 2.3 – Vendas de veículos novos por categoria de motociclo e ciclomotores.

A influência da nova lei é indiciada quando se verifica na base de dados de vendas cedida pela ACAP que entre 2008 e 2009 o segmento dos motociclos com cilindrada entre 51 e 125 cm^3 registou um aumento de 140,9% nas vendas, enquanto que os restantes segmentos são caracterizados por quebras na ordem dos -20%. Além disso, da mesma fonte tem-se que entre os dez motociclos mais vendidos em 2009, oito têm 124/125 cm^3 de cilindrada. Entre 2009 e 2010 ocorreu também um aumento de 84,7% nas vendas de motociclos com cilindrada entre 50 e 125 cm^3, enquanto que nos motociclos com mais de 125 cm^3 a redução foi de -5,0% (ACAP, 2011).

O fenómeno sugerido pela anterior análise verificou-se em Barcelona após a promulgação em 2004 de uma lei semelhante derivada da directiva 91/429/CEE de 1991 (Albalate e Fernández-

Villadangos, 2010), bem como na generalidade dos países que adoptaram esta directiva (Paulino, Dias e Hernandez, 2009) e que se traduziu, nos anos seguintes, no aumento da aquisição de motociclos e do número de vítimas de acidente envolvendo estes veículos.

Em termos de gravidade dos acidentes, os motociclos com potência não limitada constituem a categoria de VDRM mais crítica em termos de segurança rodoviária, representando um potencial perigo de morte, enquanto que os restantes veículos apresentam índices de gravidade aproximados entre si, tal como se verifica na Figura 2.4 (fonte: base de dados cedida pela ANSR).

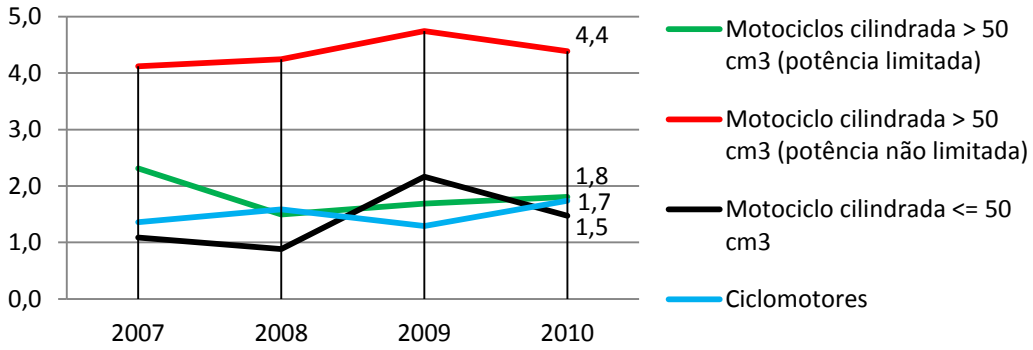


Figura 2.4 – Índice de Gravidade por categoria de VDRM, entre 2007 e 2010.

Os ciclomotores são também motivo de preocupação pelo aumento elevado do número de vítimas mortais entre 2009 e 2010 e abrandamento da redução do número de feridos graves nos últimos dois anos, quando comparado com o período 2007-2008.

2.1.2 Factor humano

A atitude no acto da condução pode influenciar a ocorrência de acidentes e contribuir para as suas consequências pela exposição voluntária ao risco (ex: incumprimento das regras de trânsito, realização de manobras inadequadas, condução a velocidade excessiva ou sob o efeito de álcool) podendo também ocorrer erros humanos de percepção e avaliação do perigo. Procede-se de seguida ao estudo de alguns parâmetros com base nos dados da ANSR de forma a caracterizar o condutor de VDRM mais envolvido em acidentes graves em Portugal e perceber quais os comportamentos associados à sua condução que conjugados com as características físicas e mecânicas dos VDRM, como a sua inerente instabilidade e elevado poder de aceleração no caso concreto dos motociclos, terão influência na sua ocorrência.

Nos acidentes com VDRM observa-se uma grande disparidade relativamente ao género do condutor, tal como se exemplifica na Tabela 4 com a distribuição da gravidade das lesões dos condutores de motociclos vítimas de acidente em 2010 e que empiricamente se atribui ao reduzido número de mulheres a conduzir estes veículos quando comparado com o número de homens, verificando-se uma proporção de 1 vítima mortal no caso das mulheres para 102 nos homens.

Tabela 4 – Condutores de motociclo vítimas de acidente em 2010, por género do condutor.

	Gravidade das lesões do condutor do VDRM		
Género	Morto	Ferido grave	Ferido leve
Masculino	102	297	2892
Feminino	1	8	145
Total	103	305	3037

Seria interessante conhecer o número de licenças/cartas de condução de VDRM emitidas em Portugal por género, de forma a apurar com rigor através de uma análise ponderada, se a ocorrência de menor número de acidentes com vítimas entre as condutoras se deve apenas ao facto de corresponderem a uma pequena parcela dos condutores ou a diferenças na condução praticada, no entanto não foi possível obter esses dados.

Analisando a variação do número de vítimas mortais por faixa etária (ver Figura 2.5), identifica-se um grande grupo que compreende os condutores com idades entre os 25 e os 34 anos, caracterizado pela ocorrência do maior número de mortos em acidentes com motociclos em 2010 e que a par com os condutores com mais de 50 anos representa um aumento significativo em relação a 2009. O menor número de vítimas mortais nos últimos anos ocorre nos condutores mais novos. A faixa dos 25 a 34 anos é também a mais afectada em termos de lesões graves em 2010.

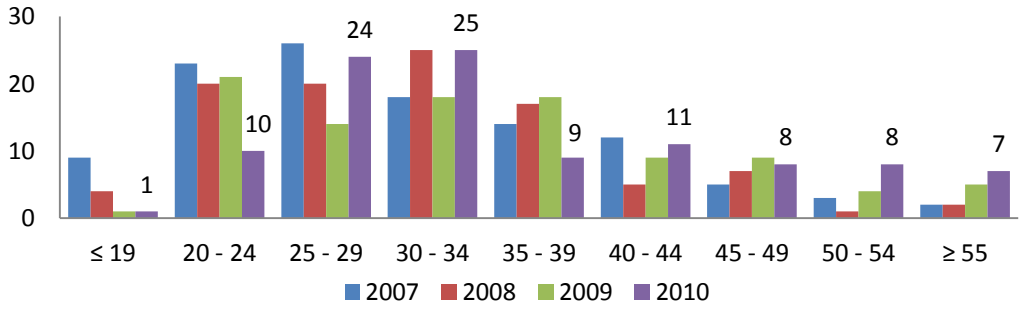


Figura 2.5 – Vítimas mortais por faixa etária do condutor de motociclo, 2007-2010.

Cruzando os dados cedidos pela ANSR, verifica-se ainda que em 2010 (ver Figura 2.6), o número de vítimas mortais na classe de motociclo com maior índice de gravidade, ou seja, motociclos com cilindrada superior a 50 cm^3 não limitados, é mais elevado entre os condutores com idade entre 25 e 34 anos, estando também associado a este veículo o maior número de vítimas mortais em todas as idades, exceptuando os condutores mais novos (que de acordo com o Código da Estrada não reúnem condições para obter a respectiva habilitação de condução) e os mais velhos.

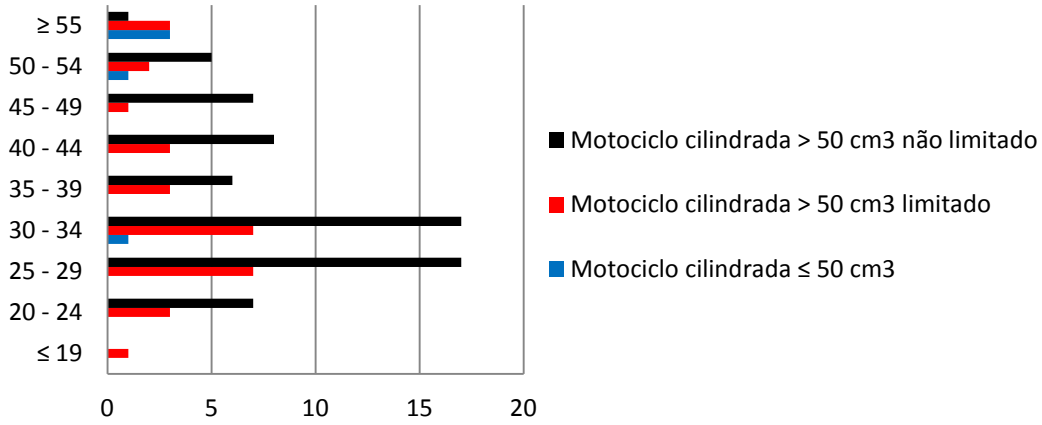


Figura 2.6 – Vítimas mortais por faixa etária do condutor de cada classe de motociclo, 2010.

Relativamente aos acidentes com ciclomotores, a nota predominante no número de vítimas mortais (ver Figura 2.7), mas também de feridos graves são os valores elevados para os condutores com idade superior a 55 anos.

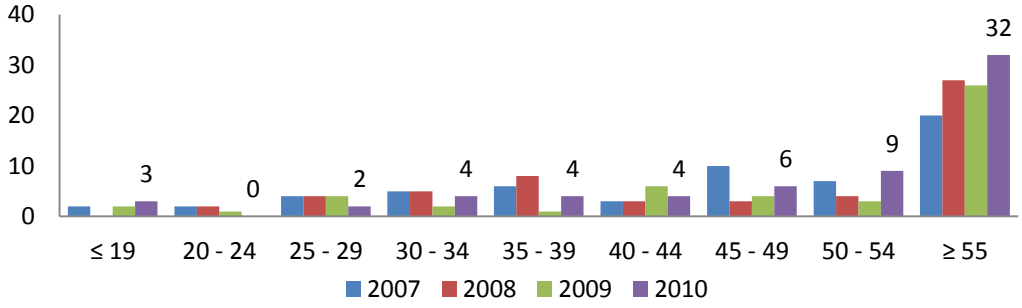


Figura 2.7 – Vítimas mortais por faixa etária do condutor de ciclomotor, 2007-2010.

Os condutores de ciclomotor vítimas de acidente pertencem habitualmente a uma faixa etária superior aos condutores de motociclos, porém, verifica-se nos últimos anos uma tendência de aumento generalizado da idade média dos condutores de VDRM, como se pode ver pela Tabela 5.

Tabela 5 – Variação da idade média dos condutores de VDRM vítimas de acidente, 2007-2010.

		Idade Média das Vítimas			
Veículos	**Lesões**	2007	2008	2009	2010
Motociclos	Mortos	31,2	31,8	34,7	36,8
	Feridos graves	31,5	31,3	33,5	34,2
	Feridos leves	33,0	33,3	34,4	34,9
Ciclomotores	Mortos	50,5	51,3	56,4	54,3
	Feridos graves	45,0	48,7	45,5	47,1
	Feridos leves	45,8	46,6	47,0	46,8

A idade do condutor não é um indicador directo da experiência do mesmo, constituindo os anos de carta um indicador mais aproximado do seu nível de experiência. Verifica-se na Figura 2.8 que os condutores de motociclo com menos de um ano de carta são também aqueles que menos contribuem para a mortalidade com estes veículos. Assiste-se na verdade ao aumento do número de mortos com

o aumento do tempo de carta para além de 1 ano, com maior incidência, em 2010, nos condutores com 1 a 5 anos de carta.

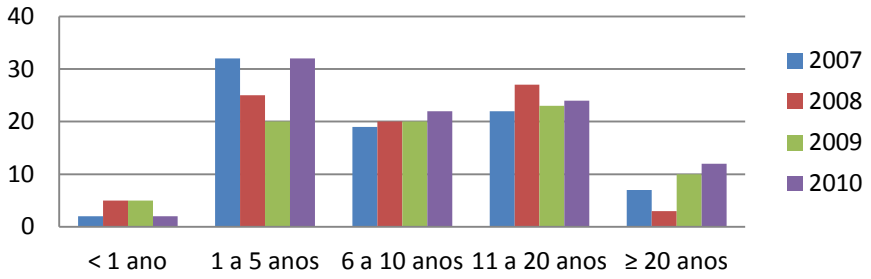


Figura 2.8 – Número de mortos entre condutores de motociclos por anos de carta, 2007-2010.

Para os ciclomotores, verifica-se na Figura 2.9 que esta realidade é ainda mais clamorosa, com aumentos dos números de vítimas mortais para todos os condutores com mais de 1 ano de habilitação de condução e o destaque pronunciado nos condutores com 20 ou mais anos de carta.

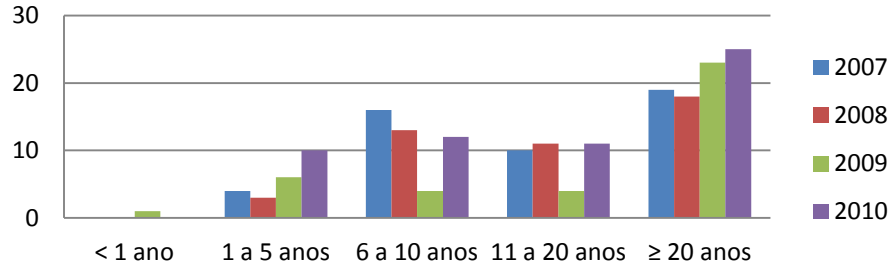


Figura 2.9 – Número de mortos entre condutores de ciclomotores por anos de carta, 2007-2010.

As análises efectuadas até este ponto contrariam a ideia de que são os condutores mais novos e com menos tempo de carta a ter mais acidentes e com consequências mais graves, observando-se uma aparente tendência de aumento do número de vítimas entre condutores com mais tempo de carta. Para comprovar esta realidade em Portugal seria oportuno registar a idade dos compradores de motociclos novos.

Entre os condutores de VDRM vítimas de acidente em 2010 registados na base de dados da ANSR verificou-se que a maioria possuía habilitação de condução válida, tendo-se ainda assim que 7,9% e 10,2% dos condutores, respectivamente, de motociclos e ciclomotores, eram infractores.

Quanto à condução sob o efeito do álcool verificou-se no ano de 2010 uma redução de cerca de 12,6% e 10,2%, respectivamente, no número de condutores de motociclos e ciclomotores vítimas de acidente apresentando excesso de álcool em relação a 2009, sendo que de acordo com o Código da Estrada se considera condução sob influência de álcool quando o condutor apresenta uma TAS igual ou superior a 0,5 g/l ou que, após exame, seja como tal considerado em relatório médico. A grande maioria dos condutores de VDRM vítimas de acidente em 2010 não conduzia sob o efeito de álcool no entanto, entre os que apresentaram TAS positiva, o número de condutores de ciclomotores supera em cerca de 7% o de condutores de motociclos. Para esta contabilidade não estão incluídas 351 vítimas de acidente não submetidas ao teste de alcoolemia ou cuja TAS não foi determinada através de exame por lesão grave, morte decorrente do acidente ou outras razões. A influência de

substâncias psicotrópicas na sinistralidade com VDRM não pôde ser analisada pois é uma informação que não consta da base de dado cedida pela ANSR.

Das principais acções realizadas em 2010 pelos condutores de VDRM nos instantes anteriores ao acidente no qual sofreram lesões ou morreram verifica-se que a maioria prosseguia em marcha normal (78%, tanto para motociclos e ciclomotores), evidenciando-se de seguida a realização de manobras de mudança de direcção à esquerda ou ultrapassagem pela esquerda.

O último factor ligado ao comportamento humano a ser analisado e cuja influência nas consequências de um acidente com VDRM é relevante é o uso de capacete que, apesar de obrigatório, é da responsabilidade do seu utilizador. As condições de segurança (activa e passiva) dos VDRM não são as mesmas oferecidas por um veículo ligeiro ou pesado, seja pelo simples facto do condutor não se encontrar, regra geral, no interior de um habitáculo, protegido por uma célula de segurança e ser praticamente inevitável a sua projecção em caso de colisão, pelo que o capacete constitui o principal meio para evitar ou reduzir as lesões resultantes. No ano de 2010, 95,1% e 93,4% dos condutores vítimas de acidente com motociclos e ciclomotores, usava capacete e apenas 1,7% e 1,6% desse total, respectivamente, não usava este dispositivo de segurança. Os restantes correspondem a condutores isentos, situações não definidas ou que não se enquadram nesta análise. Verifica-se, a partir da Tabela 6 e Tabela 7, que os resultados relativos a 2010 parecem indicar uma maior probabilidade de resultarem apenas lesões leves se o condutor usar capacete do que se não o usar, tomando-se como exemplo os condutores de motociclo (ver Tabela 6) em que entre os que não usavam capacete, 22,0% morreram e 28,8% sofreram lesões graves enquanto que para os que usavam capacete, a mortalidade foi de 2,7% e o número de feridos graves de 8,7%.

Tabela 6 – Uso de capacete em condutores de motociclo vítimas de acidentes em 2010.

	Condutores vítimas em acidentes com motociclos						
Uso de Capacete	Feridos leves	**%**	Feridos graves	**%**	Mortos	%	Total
Com Capacete	2906	88,6	284	8,7	89	2,7	3279
Sem Capacete	29	49,2	17	28,8	13	22,0	59
Total	2935	87,9	301	9,0	102	3,1	3338

Tabela 7 – Uso de capacete em condutores de ciclomotor vítimas de acidentes em 2010.

	Condutores vítimas em acidentes com ciclomotores						
Uso de Capacete	Feridos leves	**%**	Feridos graves	**%**	Mortos	%	Total
Com Capacete	2843	91,5	205	6,6	58	1,9	3106
Sem Capacete	34	63,0	17	31,5	3	5,6	54
Total	2877	91,0	222	7,0	61	1,9	3160

Os números de vítimas mais elevados entre condutores com capacete indicam, em princípio, que se assiste ao cumprimento da lei, com a grande maioria dos condutores a usar capacete, mas que este não confere uma protecção total. A sua eficácia depende das energias envolvidas na

colisão, além de que num acidente as lesões não estão confinados à zona da cabeça, sendo a sua extensão e gravidade determinantes na sobrevivência das vítimas.

2.1.3 Factores ambientais e distribuição geográfica

Os factores ambientais cuja influência pode ditar a ocorrência de acidentes com VDRM considerados para análise são as condições de luminosidade e atmosféricas. Os fenómenos envolvidos não são da responsabilidade dos condutores dos veículos e nesta análise é considerada a totalidade de vítimas de acidentes, ou seja, condutores e passageiros.

Dos acidentes com vítimas ocorridos em 2010 compilados pela ANSR, a maioria ocorreu em pleno dia, porém, em termos do índice de gravidade verifica-se que o período nocturno está associado à maior gravidade dos acidentes, tal como se pode observar na Figura 2.10 relativa aos ocupantes de motociclos vítimas de acidente.

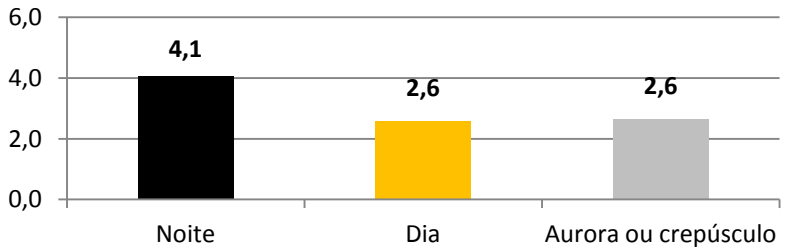


Figura 2.10 – Índice de gravidade em acidentes com motociclos por condições de luminosidade, 2010.

Nos acidentes com ciclomotores o período nocturno também é aquele ao qual está associado o maior número de vítimas mortais. Fraccionando o dia por horas verifica-se que no período das 16 às 20 horas ocorreu a maior percentagem dos acidentes com vítimas entre utilizadores de motociclos e que relativamente aos acidentes com ciclomotores, a maior percentagem ocorreu entre as 17 e as 19 horas. Repetindo a análise anterior em termos do número de vítimas mortais verifica-se que foi no período das 19:01 às 20:00 horas e das 18:01 às 19:00 horas que morreram mais utilizadores de motociclos e ciclomotores, respectivamente, em acidentes (Bernardo e Dias, 2012a). Em termos de gravidade, a situação altera-se e a partir da Figura 2.11 tem-se que em 2010, para os utilizadores de motociclos, o maior número de mortes por cada 100 vítimas ocorreu no período da madrugada, entre as 3 e as 6 horas, com um índice de gravidade máximo de 18,8 no período das 4-5 horas.

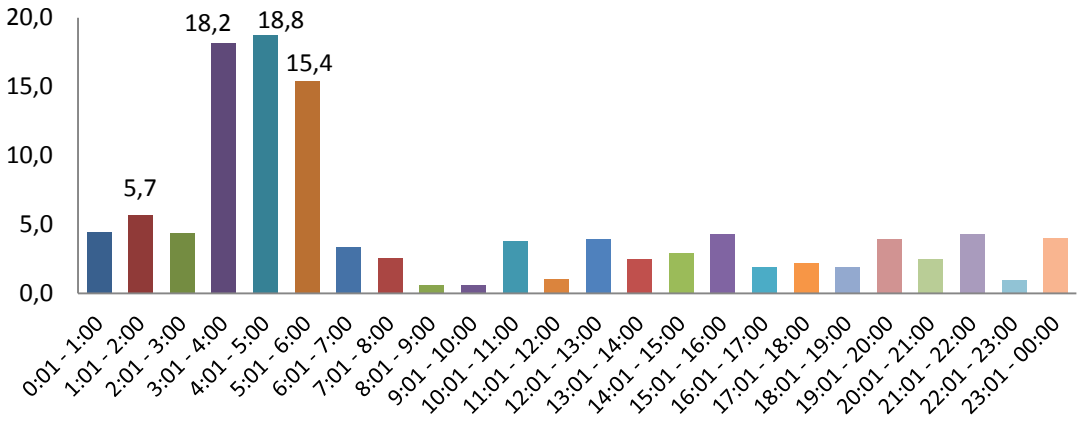


Figura 2.11 – Índice de gravidade em acidentes com motociclos segundo a hora do dia em 2010.

Nos acidentes com ciclomotores verifica-se que é também no período da madrugada e mais concretamente, entre as 4 e as 5 horas que o índice de gravidade (10,5) é máximo. Estes resultados sugerem que nos acidentes ocorridos à noite e mais concretamente, de madrugada, existe uma clara propensão para consequências mais graves que no restante período do dia.

Ainda sobre a frequência da ocorrência de acidentes com VDRM, no caso dos motociclos constata-se que o número de vítimas de acidente progride com os dias da semana, sendo menor à Segunda-feira (12,5% dos acidentes com vitimas) e aumentando até atingir um máximo de 17,5% ao Sábado, sendo que no caso dos ciclomotores, a variação é mais homogénea durante a semana, verificando-se um máximo à Sexta-feira (16,2%) e mínimo ao Domingo (11,8%). Em termos de mortalidade, Sábado e Domingo são mesmo os dias que se destacam, respectivamente, no caso dos motociclos e ciclomotores, tal como se pode ver na Tabela 8. O índice de gravidade relativo aos acidentes com VDRM destacadamente elevado também ao Domingo vem acrescentar outro factor à análise realizada e que é o da utilização destes veículos e particularmente dos motociclos ter um propósito muitas vezes recreativo, sendo o fim-de-semana um período propício para actividades de lazer e em que a conjugação entre a condução casual e factores como velocidade elevada ou o consumo de álcool poderão ter um contributo importante na gravidade dos acidentes ocorridos.

Tabela 8 – Índice de gravidade dos acidentes com VDRM segundo o dia da semana, 2010.

	Dias da Semana						
Índice de gravidade	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Sábado	Domingo
Motociclos	2,1	2,9	1,4	1,9	2,4	**4,9**	4,0
Ciclomotores	1,1	1,1	1,9	1,8	1,0	1,9	**2,5**

Relativamente às condições atmosféricas, avaliando os resultados em termos de acidentes com VDRM dos quais resultaram vítimas mortais ou feridos graves verificou-se que, entre 2007 e 2010, a extensa maioria dos acidentes ocorreu com bom tempo. No ano de 2010 houve um ligeiro aumento das ocorrências em condições de chuva e outros, sendo que esta última categoria inclui vento forte, neve, granizo e nevoeiro. Os acidentes ocorridos quando se verificavam estas últimas condições apresentaram o índice de gravidade máximo. O número reduzido de acidentes com vítimas

em condições atmosféricas adversas pode estar relacionado com a reduzida utilização dos VDRM nessas circunstâncias, quer pelo desconforto, uma vez que os condutores e passageiros estão expostos aos elementos, quer pelo risco que representam ou com a diminuição da velocidade de circulação de forma a compensar o menor atrito entre os pneumáticos e a estrada, reduzindo nesse sentido a possibilidade de queda e/ou colisão.

As condições atmosféricas repercutem-se no estado da via, pelo que analisando as condições de aderência do piso nos acidentes com vítimas entre utilizadores de VDRM em 2010 verificou-se que a esmagadora maioria dos acidentes aconteceu em piso seco e limpo, condições às quais está associado o maior índice de gravidade (3,7) no caso dos motociclos, mas que no caso dos ciclomotores pertence ao piso molhado (4,3).

Portugal tem um clima mediterrânico, sendo um dos países Europeus mais amenos e a grande percentagem de dias sem chuva durante o ano na maior parte do território (Instituto de Meteorologia, 2009) pode explicar que seja mais provável a ocorrência de acidentes com piso seco e tempo bom sem necessariamente apontar estas como as condições que os favorecem. No entanto, nos meses de Maio a Setembro o número de acidentes com vítimas entre utilizadores de VDRM foi o maior durante o ano de 2010, precisamente na altura da Primavera/Verão e relacionando esta realidade com análise anterior também é possível que estes traduzam uma utilização sazonal dos VDRM ou pelo menos seleccionada, dependente das condições climatéricas.

De seguida apresenta-se na Figura 2.12 a distribuição geográfica do número de acidentes com motociclos por 100.000 habitantes de cada distrito de Portugal Continental em 2010, conjugada com o número de mortos por cada 100 vítimas de acidente em cada distrito, recorrendo a dados actualizados do INE (INE, 2012). Destacam-se os distritos de Lisboa e Faro, com valores aproximados de vítimas de acidentes por cada 100.000 habitantes (53,1 e 52,5 respectivamente) e em termos do índice de gravidade constata-se que foi nos distritos de Bragança e Beja que se verificou o maior número de vítimas mortais por cada 100 acidentes com vítimas. Em relação aos ciclomotores verificou-se que o distrito de Aveiro foi aquele em que por cada 100.000 habitantes resultaram mais vítimas de acidente (83,7) seguindo-se com maior destaque Faro e Leiria (65,9 e 64,8 respectivamente). O índice de gravidade é maior nos distritos de Beja e Castelo Branco.

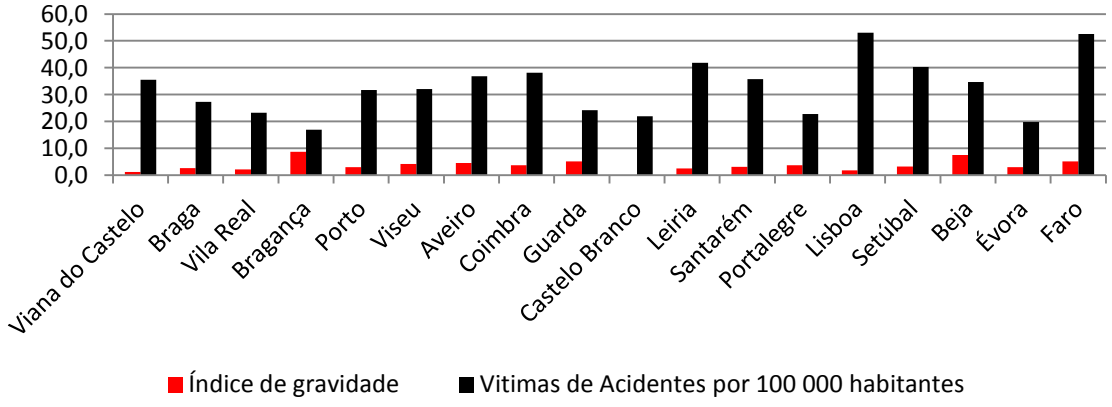


Figura 2.12 – Índice de gravidade e número de vítimas em acidentes com motociclos por 100 000 habitantes de cada distrito, em 2010.

No ano de 2010, a grande maioria dos acidentes com vítimas entre utilizadores de VDRM ocorreu dentro das localidades. Apesar deste facto e de 57,7% das vítimas mortais no caso dos motociclos e 61,5% no caso dos ciclomotores ocorrer também dentro das localidades, os acidentes com VDRM fora das localidades assumem uma maior gravidade, de acordo com o respectivo índice, tal como se pode observar na Tabela 9.

Tabela 9 – Índice de gravidade dos acidentes com VDRM dentro e fora das localidades em 2010.

Veículos	Localização	Índice de gravidade
Motociclos	Dentro das localidades	2,1
	Fora das localidades	6,2
Ciclomotores	Dentro das localidades	1,3
	Fora das localidades	4,5

Quanto ao tipo de via, em 2010, mais de metade dos acidentes de VDRM com vítimas registaram-se em arruamentos, mas o índice de gravidade máximo entre todos os tipos de via, fora ou dentro das localidades, é relativo aos itinerários complementares (8,2) para os motociclos e às variantes (25,0) no caso dos ciclomotores. Quando se analisam os acidentes ocorridos em 2010 por tipo de intersecção, mas fazendo a separação entre os acidentes ocorridos dentro e fora das localidades, o que se verifica é que fora das localidades e principalmente no caso dos motociclos, o índice de gravidade dos acidentes ocorridos em cruzamentos ou entroncamentos é bastante elevado e superior ao dos acidentes ocorridos no mesmo tipo de intersecção, dentro das localidades.

2.1.4 Natureza dos acidentes

A análise estatística dos acidentes com motociclos ocorridos em Portugal entre 2007 e 2010, apenas pode ser concluída com o estudo da natureza dos mesmos, ou seja, qual o tipo de acidente predominante e quais as suas consequências. De maneira a simplificar a apresentação dos gráficos relativos à análise dos acidentes com VDRM por natureza destes, consideraram-se as abreviaturas organizadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Abreviaturas consideradas por natureza de acidente, 2010.

Natureza do acidente	Abreviatura
Despiste simples	DS
Colisão lateral com outro veículo em movimento	CLOVM
Colisão frontal	CF
Colisão com outras situações	COS
Despiste com colisão com veículo imobilizado ou obstáculo	DCVIO
Colisão com veículo ou obstáculo na faixa de rodagem	CVO
Despiste sem dispositivo de retenção	DSDR
Colisão traseira com outro veículo em movimento	CTOVM
Despiste com transposição do dispositivo de retenção lateral	DTDRL
Despiste com capotamento	DC
Despiste com dispositivo de retenção	DCDR

De acordo com a base de dados cedida pela ANSR existem três grandes grupos de acidentes com VDRM que causam vítimas: atropelamentos, colisões e despistes. Entre estes, em 2010 a colisão foi o tipo de acidente mais frequente envolvendo VDRM e dos quais resultaram vítimas (condutores e passageiros). A Figura 2.13 corresponde aos grupos de acidentes apresentados anteriormente discriminados nos seus subgrupos e respectivas percentagens de acidentes com motociclos, número de mortos e feridos graves ocorridos em 2010, salientando-se que pela sua reduzida expressividade numérica não são considerados para comparação os despistes com fuga, colisões com fuga, colisões em cadeia e os atropelamentos de peões e de animais.

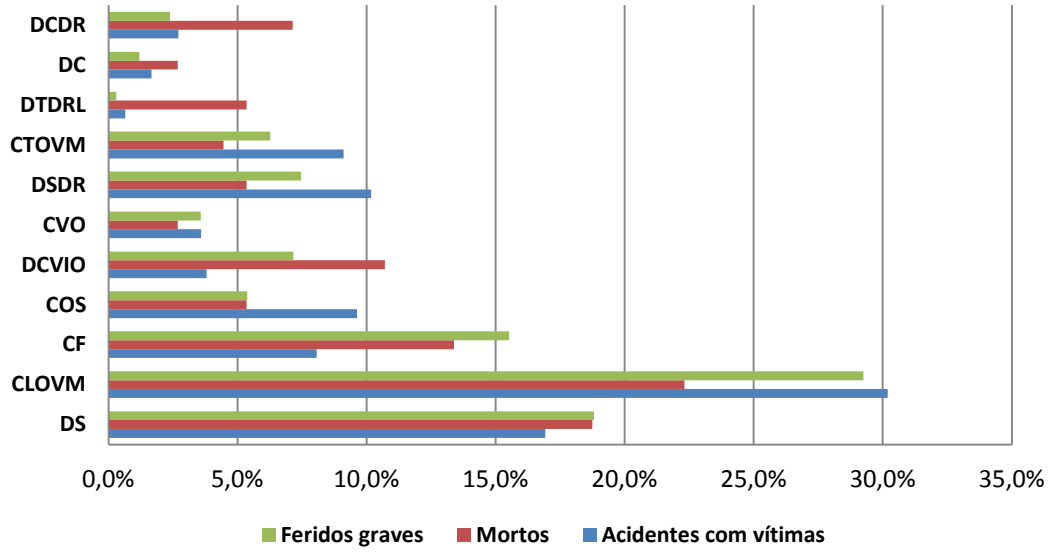


Figura 2.13 – Discriminação do número de acidentes com vítimas ocupantes de motociclos, número de mortos e feridos graves por natureza do acidente, 2010.

A tipologia de acidente envolvendo motociclos com o maior número de ocorrências em 2010 corresponde à Colisão Lateral com Outro Veículo em Movimento (CLOVM), com 1160 acidentes com vítimas e à qual está também associado o maior número de vítimas mortais e feridos graves, constituindo o Despiste Simples (DS) e tal como se pode verificar na figura anterior, o tipo de acidente que se destaca na segunda posição. Em 2007 a realidade em Portugal era diferente, com o DS a liderar o número de mortes e a CLOVM em primeiro plano no que ao número de vítimas de acidente e feridos graves diz respeito, padrão que se manteve até 2009.

No entanto, a situação que tem sido mais problemática nos acidentes com motociclos desde há vários anos é o Despiste com Transposição do Dispositivo de Retenção Lateral (DTDRL), vulgo “rail”, que em 2007 tinha um índice de gravidade de 31,3 associado, tendo-se verificado um aumento do número de mortes (20%) até 2010, ano em que este continua a ser o tipo de acidente com o índice de gravidade mais elevado, tal como ilustrado pela Figura 2.14. O Despiste Com Dispositivo de Retenção (DCDR) corresponde ao despiste com colisão no referido dispositivo, quer se trate de separador central de betão, guarda de segurança lateral metálica ou outra e constitui o tipo de acidente com motociclos com o terceiro maior índice de gravidade em 2010, antecedido pelos Despistes com Colisão com Veículo Imobilizado ou Obstáculo (DCVIO).

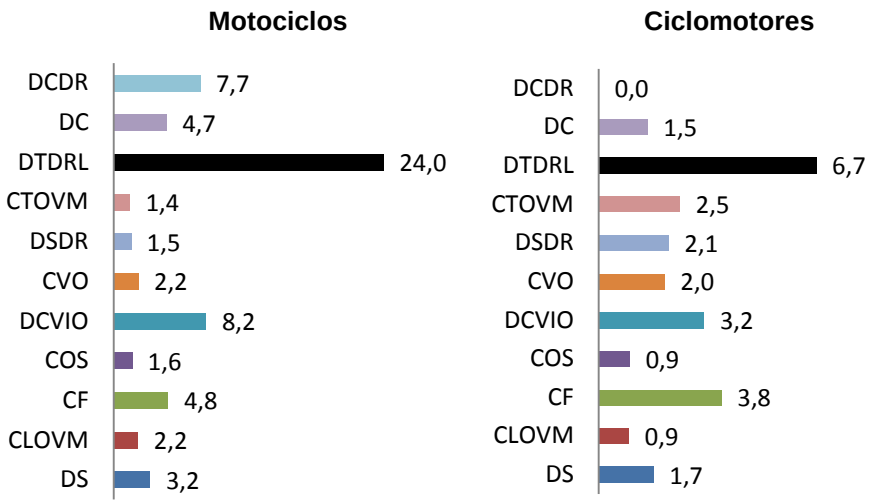


Figura 2.14 – Índice de gravidade por natureza do acidente com motociclos e ciclomotores, 2010.

Por comparação com os acidentes envolvendo motociclos, verificou-se que também nos ciclomotores prevalece a CLOVM no tipo de acidente com o maior número de vítimas e feridos graves, em 2010. No entanto, as Colisões Frontais (CF) apresentam o maior número de vítimas mortais, seguidas dos DS, superando ambos os tipos de acidente as CLOVM. No ano de 2007 o maior número de mortos pertencia aos DS, seguidos das CLOVM e das CF (Bernardo e Dias, 2012a). Em termos de gravidade dos acidentes, da Figura 2.14 verifica-se que, tal como nos motociclos, é o DTDRL o tipo de acidente com ciclomotores que apresenta o índice de gravidade mais elevado.

Portanto, verifica-se que para os utilizadores de VDRM, a colisão com objectos rígidos na via ou dispositivos de retenção lateral após despiste são em grande medida responsáveis pela ocorrência de acidentes graves e que a CLOVM apresenta um dos menores índices de gravidade.

A ocorrência de CLOVM terá como origem principal a mudança de direcção de um dos veículos envolvidos, sendo que os locais propícios para tal são os cruzamentos e intersecções, o que justifica o facto de 86% dos acidentes com esta tipologia se ter verificado dentro das localidades em 2010. Também é dentro das localidades que o limite de velocidade de circulação imposto é menor, pelo que, em princípio, as velocidades dos veículos no instante da colisão também serão menores que nos acidentes ocorridos fora das localidades, o que terá reflexo no menor índice de gravidade associado a estes acidentes. È ainda importante reter que o maior número de acidentes com VDRM ocorridos em 2010, dentro das localidades e o respectivo número de vítimas mortais e feridos graves pertencem à CLOVM, com excepção no número de vítimas mortais em acidentes com ciclomotores, que é mais elevado nas CF e DS, seguido então pelas CLOVM. Fora das localidades, o maior número de acidentes, mortos e feridos graves entre os VDRM deveu-se a DS, seguindo-se então a CLOVM, com a excepção novamente no número de vítimas mortais em acidentes com ciclomotores, em que lidera a Colisão Traseira (CT), seguida da CF e por último o DS.

Em suma, constatou-se que a CLOVM é a principal causa de acidentes com vítimas entre condutores e passageiros de VDRM em Portugal, o que é traduzido pelos respectivos indicadores de gravidade presentes na Figura 2.15.

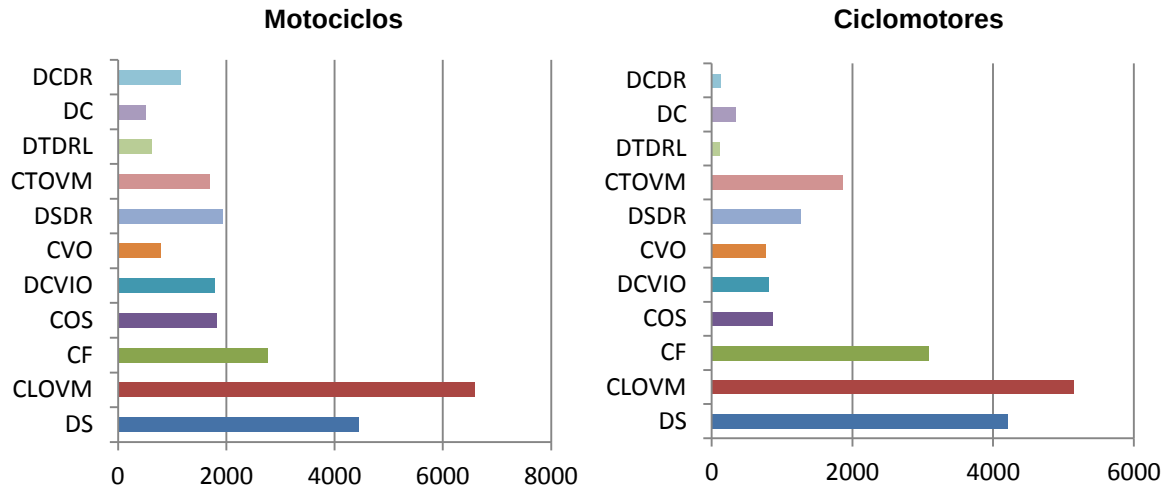


Figura 2.15 – Indicador de gravidade por natureza do acidente com motociclos e ciclomotores, 2010.

As lesões resultantes de acidentes com VDRM constituem um problema fundamental de saúde pública e desenvolvimento e a reduzida melhoria nos números de sinistralidade verificada nos últimos anos pode facilmente converter-se, como já foi possível observar no último ano em análise, em aumento do número de acidentes e da sua gravidade. A análise profunda e discriminada dos acidentes e das suas causas expõe os pontos-chave que requerem uma actuação imediata, dedicada e eficaz, verificando-se portanto que a CLOVM é um tipo de acidente envolvendo VDRM que requer especial atenção. Dada a sua dimensão e gravidade, um plano de acção focalizado na sua resolução resultará na diminuição generalizada do número de acidentes e consequentes vítimas. A sua compreensão e o conhecimento dos riscos envolvidos permitem actuar preventivamente de forma suportada para o aumento da segurança dos utilizadores de VDRM, salvaguardando o máximo possível a sua integridade física, servindo ainda para alertar e sensibilizar os potenciais envolvidos do risco que correm, além dos excessos e acções inconsequentes associadas que devem ser evitadas.

2.2 Factores de risco de lesões graves em acidentes com VDRM

Revela-se insuficiente que em Portugal, onde a sinistralidade rodoviária e particularmente, os acidentes com VDRM representam um problema de proporções significativas, a análise deste fenómeno em termos estatísticos se fique pela mera estatística descritiva, como a realizada anteriormente neste trabalho. Este tipo de análise é bastante útil para o tratamento e exploração geral de dados relativos a uma determinada população, permitindo a identificação de padrões e frequências mas é também por isso limitada quando se pretende detectar efeitos na população e quantificar esses efeitos. Os resultados obtidos podem dar uma ideia sobre uma eventual associação entre variáveis mas não revelam a relação de causalidade entre elas.

Portanto, a partir da análise estatística dos acidentes com VDRM já realizada até este ponto e da revisão bibliográfica sobre o tema em causa para definir o conhecimento universal sobre os principais factores de risco associados aos acidentes com estes veículos, verificar a existência de investigação com objectivos idênticos e os métodos estatísticos aplicados em análises semelhantes,

pretende-se identificar os factores de risco que influenciam a gravidade das lesões sofridas pelos condutores de VDRM em caso de acidente.

Nesta primeira abordagem na aplicação de métodos estatísticos que permitem aumentar o nível de confiança no processo de identificação das causas da ocorrência de acidentes e lesões foi aplicado o modelo de Regressão Logística Ordinal, utilizando-se para tal o *software* de análise estatística de dados SPSS[2], versão 19.

2.2.1 Dados

Os dados de sinistralidade envolvendo VDRM relativos ao período 2007-2010 cedidos pela ANSR e utilizados neste trabalho, provêm inicialmente de dois registos diferentes preenchidos pelas entidades fiscalizadoras (GNR e PSP) quando tomam conhecimento da ocorrência de um acidente: as ANTENAS e os BEAV. O primeiro registo contém informação sobre o número total de acidentes e vítimas registado por distritos enquanto que os BEAV constituem uma fonte mais completa da sinistralidade, pois permitem caracterizar as circunstâncias em que ocorrem os acidentes (tipo de via, localização), bem como os utentes envolvidos (idade, género, etc) (ANSR, 2011).

Na base de dados da ANSR consta então a informação detalhada dos acidentes com VDRM ocorridos em Portugal Continental em que resultaram lesões ou ocorreu a morte do condutor e/ou do passageiro do VDRM, encontrando-se os acidentes discriminados por vítima do mesmo. Os principais parâmetros registados são os seguintes: data e hora do acidente, categoria de VDRM (ciclomotor ou motociclo, por sua vez subdividido em motociclo com cilindrada inferior ou igual a 50 cm^3, com cilindrada superior a 50 cm^3 e com potência limitada a 25 kW ou relação potência/peso inferior a 0,16 kW/kg e motociclo com cilindrada superior a 50 cm^3 com potência não limitada), informações geográficas (distrito, concelho, freguesia), localização (dentro ou fora das localidades), natureza do acidente, condições atmosféricas e de luminosidade, tipo de via, tipo de intersecção na via, estado de conservação e condições de aderência da via, sinalização, dados demográficos (idade e sexo das vítimas), gravidade das lesões (ferido leve, ferido grave ou morto), ano da licença de condução, realização de teste de alcoolemia e respectivo resultado, acções dos condutores antes do acidente e utilização de capacete. A cada acidente está também associado um código de identificação.

Como alguns dos factores a analisar dependem em grande medida da atitude/acção do condutor, utilizaram-se apenas os dados dos condutores vítimas de acidente, tratando-se de uma opção comum nos trabalhos científicos dedicados à sinistralidade rodoviária analisados. Um exemplo é o trabalho realizado por De Lapparent (2006) em que foram descartados os acidentes em que os motociclistas transportavam passageiros de forma a assegurar que a eventual comunicação com o passageiro não influenciou a sua condução.

Entre 2007 e 2010 ocorreram 13862 acidentes resultando em lesões ou morte do condutor do motociclo e 14305 no caso dos ciclomotores, contabilizando no total 28167 vítimas. Durante a preparação do conjunto de dados para análise, a qualidade destes foi verificada, nomeadamente, a

[2] Licença disponibilizada a todos os docentes, não docentes, LTI's e alunos do IST em https://delta.ist.utl.pt/software/spss.php.

consistência dos parâmetros ao longo dos anos em análise, o que resultou, como já havia sido referido anteriormente, na eliminação de registos devido a erros detectados e descritos no Anexo I (ver Tabela 33). Também foram eliminados os casos (salvo duas excepções, como será explicado mais adiante) em que um ou mais parâmetros tinham valores em falta ou estavam classificados explicitamente como não definidos na base de dados, sendo este um método frequentemente utilizado para lidar com esta situação, tal como se pode verificar nos trabalhos realizados por Keng (2005), Lardelli-Claret *et al*. (2009) e Albalate e Fernández-Villadangos (2010). Portanto, o número final de condutores de VDRM vítimas de acidente presentes no modelo estatístico difere do número total de observações presentes na base de dados, tendo-se então que a amostra utilizada nas estimativas dos factores de risco determinantes na gravidade das lesões é constituída por 24619 casos, sendo que 11972 dizem respeito a acidentes com motociclos e 12647 a ciclomotores. Dos 24619 condutores vítimas de acidente, 21916 correspondem a feridos leves, 2132 a feridos graves e 571 a vítimas mortais.

2.2.2 Metodologia

O objectivo da presente análise estatística é determinar, de entre os condutores de VDRM que efectivamente sofreram lesões em caso de acidente, quais os principais factores que influenciam a gravidade dessas mesmas lesões. Definindo concretamente o objectivo do trabalho, as hipóteses que se pretendem testar, as variáveis a controlar e respectivas escalas de medição, estão estabelecidas as bases fundamentais para seleccionar as provas estatísticas adequadas para a análise pretendida.

2.2.2.1 Variáveis

Para estimar os factores que influenciam a gravidade das lesões sofridas pelos condutores de VDRM num acidente foi possível construir uma variável nominal ordinal que contém os diferentes níveis de gravidade de lesões, de modo semelhante ao que foi feito por Albalate e Fernández-Villadangos (2010). Portanto, a variável dependente *lesões* contém três níveis crescentes de gravidade de lesão resultante no condutor do VDRM: ferido leve, ferido grave e morto.

As variáveis independentes, explicativas ou factores, como em estatística também são designadas, constituem os potenciais determinantes na gravidade das lesões dos condutores de VDRM vítimas de acidente e foram seleccionadas com base nos dados da ANSR, na revisão da literatura e nas situações críticas identificadas na análise estatística realizada anteriormente.

Entre os factores relacionados com o veículo, o trabalho até este ponto realizado sugere a hipótese de que nos acidentes com VDRM os condutores de motociclos são mais vulneráveis a sofrer lesões graves que os condutores de ciclomotores. Para avaliar a influência do tipo de VDRM e respectiva capacidade do motor foi criada uma variável abrangente que diferencia o VDRM em relação à motorização. No presente caso, a informação fornecida pela ANSR diferencia os veículos tanto por cilindrada como por potência e além disso, por velocidade atingida, atendendo ao caso do motociclo com cilindrada inferior ou igual a 50 cm^3 e do ciclomotor, em que a característica

diferenciadora, por definição, é a velocidade máxima atingida (45 km/h), avaliando-se então a influência conjunta destas características na gravidade dos acidentes.

Para tentar verificar uma possível influência da alteração na legislação que permite aos condutores de ligeiros de passageiros conduzir motociclos com menos de 125 cm^3 e potência limitada a 11 kW na sinistralidade com VDRM, introduziu-se uma variável binária que assume o valor 1 para acidentes ocorridos a partir do mês seguinte à entrada em vigor da lei e 0 antes dessa data. Seguiu-se assim o exemplo de Albalate e Fernández-Villadangos (2010), mas avaliando o efeito da medida ao longo dos meses ao invés dos anos, por se tratar de uma medida recente em Portugal

No que diz respeito ao factor humano, para analisar a influência da idade na gravidade das lesões transformou-se a respectiva variável contínua numa variável nominal em que cada vítima foi associada, no modelo estatístico, a um dos intervalos de idade estabelecidos, abrangendo o grupo dos jovens (idade até aos 19 anos), jovens adultos (20 a 29 anos), adultos (30 a 39 anos), meia-idade (40 a 49 anos) e mais velhos/idosos (idade igual ou superior a 50 anos), sendo a categoria de referência o grupo dos mais jovens (≤19 anos). O género do condutor também foi considerado como um potencial factor de risco na gravidade das lesões.

A gravidade das lesões é também determinada por uma série de factores relacionados com a segurança mas que se consideraram como factores humanos pois dependem, em última instância, do condutor e/ou das suas opções. Entre estes encontram-se os anos de carta/licença de condução, (para os quais se criaram grupos do mesmo modo que para a idade), o estado da habilitação de condução aquando do acidente e as manobras realizadas pelo condutor. Avaliou-se também a influência do consumo de álcool e o uso ou não de capacete na gravidade das lesões.

Relativamente às variáveis “Anos de Carta” e “TAS” verificou-se que a estratégia definida de eliminação do modelo dos casos possuindo parâmetros com valores em falta ou não definidos não era viável. Para a variável “Anos de Carta” constatou-se que a maioria dos casos vazios correspondia a condutores de VDRM que não possuíam habilitação de condução, o que se deverá à impossibilidade das autoridades policiais registarem a data da mesma e a sua eliminação do modelo estatístico implicaria a exclusão de todos os condutores sem carta de condução, inviabilizando assim a avaliação da influência do estado da habilitação de condução na gravidade das lesões do condutor. Em relação à variável “TAS” verificou-se que a ausência de dados correspondia a 533 vítimas mortais e ao eliminá-los perder-se-ia praticamente o número total de vítimas mortais da amostra. Esta ausência de dados é natural porque em acidentes mortais as autoridades policiais apenas conseguem obter a TAS da vítima após a realização de um exame toxicológico. Dado o peso estatístico destes casos, cuja eliminação tornaria impraticável a realização de análise em causa com uma amostra escassamente distribuída, composta praticamente por feridos leves, optou-se por definir explicitamente categorias adicionais para as situações em que os anos de carta não foram registados, em que o condutor não foi submetido ao teste de alcoolemia por lesão/morte ou ainda em que a TAS não foi medida por outras razões, como doença, recusa ou fuga do condutor.

Consideraram-se cinco factores ambientais na análise: condições de iluminação; condições atmosféricas; condições de aderência do piso; período do ano em que ocorreu o acidente, classificado de acordo com os trimestres do ano; dia do acidente, criando-se dois grupos de acordo

com o padrão de acidentes verificado na análise estatística inicial, relativos nomeadamente aos dias úteis e fim-de-semana; hora do acidente, que foi dividida em cinco grupos de acordo com os horários de trabalho, padrão de utilização dos veículos e frequência dos acidentes: horas de ponta (7:01-9:00h e 16:01-18:00h), tarde (9:01-16:00h), noite (18:01-0:00h) e meia-noite/madrugada (0:01-7:00h), constituindo o período da tarde a categoria de referência.

Entre os factores geográficos considerados encontram-se os distritos de Portugal Continental em que ocorreu o acidente, sendo Lisboa o distrito de referência, a sua localização (dentro ou fora das localidades), o tipo de via e tipo de intersecção. O estado de conservação da via também foi considerado, dividido em bom estado/regular e mau estado.

No que diz respeito à natureza do acidente, foi analisada a correlação entre o tipo de acidente e a gravidade das lesões no condutor do VDRM, sendo considerada a colisão lateral com outro veículo em movimento como referência entre as restantes tipologias.

A descrição e distribuição de frequência de todas as variáveis independentes consideradas no modelo estatístico completo e descritas anteriormente são apresentadas na Tabela 34 do Anexo II.

2.2.2.2 Modelo estatístico

A selecção da técnica estatística apropriada depende das hipóteses a testar e da natureza dos dados a analisar. Na presente investigação pretendeu-se determinar a influência dos factores descritos anteriormente na gravidade das lesões do condutor de VDRM vítima de acidente, ou seja, determinar a relação entre as variáveis definidas, que na sua maioria eram originalmente nominais ou foram transformadas em nominais para garantir a uniformidade do modelo estatístico. Nas condições apresentadas verifica-se que a regressão logística é a técnica adequada a aplicar e dada a natureza ordinal da variável dependente considerou-se um modelo de regressão logística ordinal, que corresponde no fundo, a uma modificação do modelo de regressão logística binária que incorpora a natureza ordinal da variável dependente e que em vez de determinar a probabilidade de ocorrer um determinado evento isolado, estima a probabilidade de ocorrência desse evento e de todos os eventos ordenados antes deste (probabilidade acumulada). Poder-se-ia tratar a variável dependente apenas como nominal, aplicando-se nesse caso a regressão logística multinomial, no entanto, numa variável ordinal as categorias são hierarquizáveis, ao contrário das variáveis nominais em que não existe uma ordem intrínseca entre as respectivas categorias, logo, as variáveis ordinais fornecem mais informação, permitindo assim capturar o aumento da gravidade das lesões.

Na análise de regressão ordinal a função de ligação mais utilizada na construção de modelos estatísticos é a função *logit*, recomendada quando a variável dependente ordinal apresenta uma distribuição relativamente igual dos dados nas suas categorias. A função de ligação especifica qual a transformação a aplicar à variável dependente pelo que a escolha da função inadequada pode comprometer a significância estatística do modelo. Na distribuição das categorias da variável dependente considerada tem-se, como referido anteriormente que dos 24619 condutores vítimas de acidente, 21916 correspondem a feridos leves, 2132 a feridos graves e 571 a vítimas mortais, verificando-se que a probabilidade dos condutores de VDRM vítimas de acidente pertencerem à categoria de ordem inferior, ou seja, feridos leves, é maior, logo a função de ligação adequada e

indicada para estes casos é a função *log-log negativa* (Norusis, 2004). Porém, como referido por Chen e Hughes (2004) não existe um método claramente definido para seleccionar a função de ligação adequada para além da recomendação presente na literatura pelo que ambas as funções indicadas anteriormente foram utilizadas na análise e avaliação dos possíveis modelos, o que consistiu no processo de ajustamento do modelo ordinal e selecção da função ligação apropriada. Se uma das funções de ligação não proporcionou um bom ajuste do modelo aos dados então verificou-se se a alternativa resultava num modelo melhor.

Se aplicada a função de ligação *logit*, o modelo de regressão ordinal considerando múltiplas variáveis independentes apresenta a seguinte formulação:

$$f\left(\gamma_j(X)\right) = log\left(\frac{\gamma_j(X)}{1-\gamma_j(X)}\right) = log\left(\frac{P\{Y \leq y_j/X\}}{P\{Y > y_j/X\}}\right) = \alpha_j + \sum_{n=1}^{k} \beta_k X_k \, , j = 1,2,\ldots,\text{k-1} \tag{2.1}$$

$$\gamma_j(X) = \frac{e^{\alpha_j + \beta X}}{1 + e^{\alpha_j + \beta X}} \tag{2.2}$$

No caso da aplicação da função de ligação *log-log negativa* tem-se:

$$f\left(\gamma_j(X)\right) = -log\left(-log\left(\gamma_j(X)\right)\right) = -log\left(-log\left(P\left\{Y \leq \frac{y_j}{X}\right\}\right)\right) = \alpha_j - \\ -\sum_{n=1}^{k} \beta_k X_k \, , j = 1,2,\ldots,\text{k-1} \tag{2.3}$$

$$\gamma_j(X) = e^{-e^{-(\alpha_j - \beta X)}} \tag{2.4}$$

Para ambos os casos, $f\left(\gamma_j(X)\right)$ é a função de ligação e j representa os pontos de corte para todas as categorias da variável dependente, ou seja, no caso do presente trabalho, as subcategorias da variável dependente (ferido leve, ferido grave e morto); Y é a variável resposta, que assume um valor inteiro entre 1 e j; γ_j é a probabilidade acumulada da resposta; X_k são as k variáveis independentes associadas à variação nas variáveis dependentes; α_j representa o limiar para cada probabilidade acumulada e β_k os coeficientes de regressão (declives) das variáveis independentes e ambos são incógnitas estimadas pelo método da máxima verosimilhança (Bender e Benner, 2000). As funções de distribuição (equações (2.2 e (2.4) dão as probabilidades acumuladas de se observar uma categoria inferior ou igual a j. O fundamento teórico dos modelos de regressão e em particular, do modelo de regressão ordinal encontram-se descritos de forma mais detalhada na literatura (e.g., Hosmer e Lemeshow, 2000; Norusis, 2004; O'Connell, 2006 e Maroco, 2007).

A aplicação do modelo de regressão ordinal exige a avaliação cuidadosa de um princípio rígido designado por hipótese das chances[3] (*odds*) proporcionais ou hipótese das linhas paralelas que assume que os coeficientes de regressão (β_k) mas não os limiares (α_j) são iguais para todas as categorias da variável dependente, o que significa que o efeito da variável independente sobre a

[3] Todos os termos estatísticos utilizados estão de acordo com o Glossário Inglês – Português de Estatística da Sociedade Portuguesa de Estatística – Associação Brasileira de Estatística, disponível em http://glossario.spestatistica.pt/.

função de ligação é o mesmo para todas as categorias da dependente e que as linhas da função de ligação utilizada são paralelas para as respectivas j categorias, possibilitando que seja utilizado apenas um modelo ao invés de modelos separados caso não se verificasse esta hipótese.

Integrado na análise de regressão ordinal do SPSS encontra-se o teste da hipótese das linhas paralelas, um teste de razão de verosimilhanças que compara o modelo estimado com coeficientes de regressão iguais com um modelo com um conjunto distinto de coeficientes para cada categoria da variável dependente. Para um modelo bem ajustado, o teste das linhas paralelas é não significativo ($p>0,05$), não se rejeitando assim a hipótese nula de que os coeficientes de regressão no modelo são os mesmos para as categorias da variável dependente, logo, a hipótese é válida (Bender e Benner, 2000; Norusis, 2004; Williams, 2006 e O'Connell, 2006). A violação desta hipótese pode invalidar a regressão ordinal uma vez que as estimativas obtidas podem estar seriamente enviesadas, comprometendo a análise e as conclusões obtidas, sendo no entanto de ressalvar que o teste das linhas paralelas é excessivamente restritivo e em amostras de grande dimensão e/ou modelos com muitas variáveis independentes é característica a detecção de diferenças significativas nos declives que são na realidade triviais (Williams, 2006 e O'Connell, 2006).

Portanto, a verificação desta hipótese é crítica para a validação do modelo de regressão ordinal e foi um critério essencial no processo de obtenção do modelo adequado e ajustado de entre os modelos candidatos, tal como realizado por Chen e Hughes (2004). Partindo de um modelo completo contendo todas as variáveis independentes consideradas, foi aplicada uma abordagem faseada de eliminação das variáveis independentes não significativas e/ou reconfiguração das mesmas colapsando as suas categorias, seguida da verificação do teste das linhas paralelas e sendo descartados os modelos que falharam o teste. Em cada fase do processo foram também avaliadas as restantes estatísticas de ajuste do modelo, bem como a sua estabilidade (variação reduzida dos parâmetros do modelo após cada reformulação), de forma a obter o modelo final. Um último critério fundamental na obtenção do melhor modelo foi o respeito do princípio da parcimónia, ou seja, o modelo de regressão não necessita de incluir variáveis desnecessárias, pelo que é desejável ter o menor número de variáveis independentes suficientes para explicar os seus efeitos e que simplifiquem a interpretação do modelo. Com base neste princípio, o modelo reduzido que cumpre os requisitos referidos deve ser considerado como o modelo óptimo.

Para interpretar então o modelo de regressão ordinal, o ponto principal é analisar o sinal dos coeficientes de regressão estimados, pois indicam a significância do efeito das variáveis independentes na probabilidade acumulada da resposta ordinal. Um coeficiente com sinal positivo indica uma relação positiva entre as variáveis na magnitude do valor obtido, ou seja, no sentido crescente da ordem das categorias da variável dependente, o que no caso deste trabalho se traduz no sentido de aumento da gravidade das lesões. Um sinal negativo corresponde a uma variação no sentido oposto ao indicado anteriormente (Chen e Hughes, 2004 e Maroco, 2007).

Quando a função de ligação utilizada no modelo é a função *logit*, a interpretação dos resultados pode ser feita convertendo as estimativas obtidas em razões de chance (OR). A função *logit*, como se pode confirmar na equação (2.1) apresentada anteriormente, é o logaritmo da OR que um dado evento ocorra, tendo-se que a OR de um dado evento, tal como se verifica na equação (2.5),

corresponde à possibilidade de ocorrência de um dado evento no grupo p_1 ou p_0 e traduz-se pela razão das respectivas chances ou quocientes entre a probabilidade de ocorrência do evento no grupo e a probabilidade de que este mesmo evento não ocorra nesse grupo, ao invés da definição clássica de probabilidade dada pela lei de Laplace em que a probabilidade de um dado acontecimento é o quociente entre o número de casos favoráveis e o número de casos possíveis (Norusis, 2004; O'Connell, 2006; Maroco, 2007 e Agresti, 2007).

$$OR = \frac{p_1/(1-p_1)}{p_0/(1-p_0)} \tag{2.5}$$

No fundo a OR fornece uma medida da associação entre as variáveis independentes e a dependente na regressão ordinal. Uma OR maior que 1 indica que a probabilidade de se observarem categorias de menor ordem da variável dependente comparativamente à probabilidade de se observarem categorias de maior ordem aumenta quando há variação da categoria da variável independente em relação à respectiva categoria de referência e uma OR inferior a 1 indica que a probabilidade de se observarem as categorias de ordem inferior da variável diminui em relação à probabilidade das categorias de ordem superior. As OR têm o valor 0 como limite inferior, mas não existe limite superior. Uma OR igual a 1 verifica-se quando se tem a mesma probabilidade de observar as categorias de ordem inferior e superior da variável dependente para uma dada categoria da variável independente relativamente à sua categoria de referência e portanto a variável independente não tem efeito na probabilidade da resposta ordinal. A OR para uma determinada categoria da variável independente é calculada relativamente à categoria de referência da mesma, logo, a OR de cada categoria de referência é igual a 1. O SPSS automaticamente assume a última categoria de cada variável independente como a categoria de referência, sendo a codificação das variáveis independentes do modelo completo a apresentada na Tabela 34 do Anexo II e em que por exemplo, examinando a variável localização, a codificação é 0 para o acidente ocorrido fora das localidades e 1 dentro das localidades, logo, “Dentro das localidades” é a categoria de referência e os coeficientes estimados serão relativos aos acidentes ocorridos dentro das localidades.

O SPSS não calcula OR pelo que a conversão dos coeficientes de regressão estimados em OR quando aplicada a função de ligação logit é obtida calculando

$$\mathrm{OR} = \mathrm{e}^{-\beta} \tag{2.6}$$

A associação entre os vários factores e a variável dependente medida neste caso pela OR apenas é válida se o coeficiente de regressão estimado for significativo, tendo sido considerado na análise realizada o habitual intervalo de confiança (IC) de 95% e também o valor-p critico associado de p=0,05 em todas as etapas de obtenção do modelo final, nomeadamente, como critério de exclusão (p>0,05) das variáveis independentes no modelo final. O IC é a gama de valores em que se pensa que os valores da população se encontra e um IC de 95% significa que existe apenas 5% de possibilidades de algo ocorrer por acaso, podendo-se então aceitar com elevado grau de segurança uma dada relação ou conclusão como possível, dizendo-se então que é estatisticamente significativa.

O valor-p crítico ou nível de significância corresponde à quantidade de evidência mínima requerida para aceitar que a relação verificada é improvável que tenha ocorrido por acaso. Portanto uma associação significativa não prova que a variável independente tem um efeito causal na variável dependente, meramente indicando que a variação no resultado da variável dependente pode ser explicada pelo factor considerado (Norusis, 2004).

2.2.3 Resultados

Para avaliar se os factores considerados apresentam um efeito estatisticamente significativo sobre as probabilidades associadas à gravidade das lesões dos condutores de VDRM vítimas de acidente, procedeu-se inicialmente à aplicação da regressão ordinal ao modelo completo com as funções de ligação *logit* e *log-log negativa*. Comparando os resultados obtidos verificou-se que o modelo com a função *logit* apresentou um comportamento ligeiramente melhor ao nível do ajuste do modelo. Verificou-se em ambos os modelos a existência de um elevado número de células (66,6%) resultantes do cruzamento das variáveis independentes, que não apresentam qualquer observação, pelo que a aplicação dos testes de qualidade de ajuste do modelo do Chi-Quadrado de Pearson e da Desviância não é aconselhada (Norusis, 2004 e Maroco, 2007). Porém, o ajuste de cada modelo em causa e a diferença de qualidade entre eles podem ser avaliados comparando a distribuição da razão de verosimilhanças e a sua aproximação à distribuição Chi-quadrado (entre o modelo completo ajustado com todas as variáveis independentes e o modelo completo sem as mesmas), pois este teste estatístico não é afectado pela condição anterior, sendo que o melhor modelo é aquele que apresentar o menor valor (Norusis, 2004 e Maroco, 2007). Verificou-se então que o modelo com a função *logit* apresentou o menor resultado em termos de razão de verosimilhanças ou –2LL (14687,704 *vs.* 15002,337), com um nível de significância estatística idêntico para ambos os modelos ($G^2_{logit}(101) = 5115.464; p = 0.000$ *vs.* $G^2_{log-lognegativa}(101) = 4800.931; p = 0.000$), o que significa que o modelo ajustado é significativamente melhor que o modelo nulo e pelo menos uma das variáveis independentes do modelo afecta significativamente as probabilidades de ocorrência das categorias da variável dependente (Hosmer e Lemeshow, 2000; Norusis, 2004 e Maroco, 2007). No processo de escolha da função de ligação a utilizar também foram consideradas a estimativa dos parâmetros Pseudo-R^2, a significância estatística dos coeficientes de regressão estimados e o teste das linhas paralelas (Maroco, 2007). Os parâmetros Pseudo-R^2 são uma medida da capacidade do modelo em explicar as variações nos dados, indicando a força da associação entre as variáveis independentes e a dependente e permitindo avaliar a significância prática do modelo, tendo-se verificado que o modelo com a função *logit* apresentou as estimativas mais elevadas dos Pseudo-R^2 de Cox and Snell (0,188 vs. 0,177), Nagelkerke (0,339 *vs.* 0,320) e McFadden (0,258 *vs.* 0,242). Também se verificou um aumento generalizado da significância estatística das variáveis independentes no modelo completo com a função *logit*. Finalmente, no que diz respeito ao teste das linhas paralelas, ambos os modelos apresentaram um valor-p inferior a 0,05 ($X^2_{logit}(101) = 650.710; p = 0.000$ *vs.* $X^2_{log-lognegativa}(101) = 913.120; p = 0.000$), logo, rejeita-se a hipótese nula de que os coeficientes de regressão são iguais entre as categorias da variável dependente, pelo que não

é válida a hipótese das chances proporcionais. Verifica-se então que a validade de ambos os modelos é incerta, tendo-se também, como se analisou anteriormente, que o elevado número de células vazias não permitiu assegurar completamente a qualidade do ajuste dos modelos. Estes são problemas comuns em modelos de regressão ordinal aplicados a amostras de grande dimensão e/ou com elevado número de variáveis independentes categóricas (Norusis, 2004), como é o caso do nosso modelo e tal como já havia sido realçado anteriormente para o teste das linhas paralelas.

As estatísticas de ajuste dos modelos favorecem a função de ligação *logit*, porém as condicionantes apontadas anteriormente comprometem a sua fiabilidade, não permitindo conclusões seguras. Evidenciando apenas algumas sugestões interessantes de potenciais relações entre os factores incluídos no modelo completo e a variável dependente, notou-se um efeito estatisticamente significativo ($p<0,05$) no sentido do aumento da gravidade das lesões em acidentes com condutores de motociclos com cilindrada superior a 50 cm^3 e potência não limitada relativamente aos ciclomotores ou uma contribuição significativa no sentido de lesões menos graves quando o condutor do VDRM é do género feminino. Da análise de regressão ordinal ao modelo completo também parece não existir uma evidência de aumento da gravidade dos acidentes com VDRM após a entrada em vigor em Agosto de 2009 da lei que permite aos condutores com carta de veículo ligeiro conduzir VDRM. Como não se trata do modelo óptimo, não se apresentam os *outputs* do SPSS e OR relativos ao modelo de regressão ordinal completo, descrito e analisado em detalhe no relatório próprio referido anteriormente (Bernardo e Dias, 2012a), reservando-se esse espaço para o modelo final.

Procedeu-se então à optimização do modelo completo com função de ligação *logit* seguindo os princípios e metodologia descritos anteriormente e numa primeira fase foram progressivamente removidas as variáveis independentes com $p>0.05$ em todas as respectivas categorias, seguindo-se a exclusão ou colapso de categorias das restantes variáveis de acordo com a sua significância estatística. Em cada etapa do processo foram continuamente avaliadas e comparadas com o modelo anterior e com o modelo completo original, as estatísticas de ajuste, a significância das variáveis e a validação do princípio das chances proporcionais de cada modelo reduzido obtido (Hosmer e Lemeshow, 2000). A eliminação de variáveis ou colapso das categorias pretende evitar efeitos aleatórios e não significativos no resultado de lesão, obtendo-se assim um modelo menos complexo, mas também eliminar ao máximo combinações de variáveis em que não se registaram ocorrências, expectáveis em amostras de grande dimensão (ex: nos anos abrangidos pela amostra nenhum condutor morreu num acidente em que existia gelo na via) e que comprometem a validade dos testes de qualidade do ajuste do modelo (Hosmer e Lemeshow, 2000) tal como se verificou anteriormente. Em simultâneo procurou-se garantir que o modelo final não perdia informação significativa tendo em conta a relevância empírica reconhecida na literatura dos vários factores na relação de causalidade com a variável dependente. Foi então necessário fazer um compromisso entre um modelo com maior detalhe e um modelo reduzido com maior nível de confiança nos respectivos resultados, com o melhor ajuste possível, validando o princípio das chances proporcionais, fundamental na regressão ordinal e respeitando o princípio da parcimónia, mas ainda assim com as variáveis que, na medida do nosso conhecimento, são importantes e descrevem a variável de resposta.

As OR (IC de 95%) e a significância estatística das variáveis do modelo ordinal reduzido ajustado são apresentadas na Tabela 35 presente no Anexo III. O *output* do SPSS encontra-se no Anexo IV, podendo-se verificar (ver Tabela 37, Anexo IV) que o modelo reduzido é estatisticamente significativo ($G^2\,(18) = 807.303; \mathrm{p} = 0.000$), ainda que a dimensão do efeito seja algo reduzida, como é traduzido pelos parâmetros Pseudo-R^2 (ver Tabela 39, Anexo IV) de Cox and Snell (0,032), Nagelkerke (0,058) e McFadden (0,041). Em ambos os testes de qualidade do ajuste de Pearson e da Desviância (ver Tabela 38, Anexo IV) o valor-p é maior que o nível de significância crítico ($X^2_{Pearson}(1198) = 1146.342; \mathrm{p} = 0.855$ e $D(1198) = 1019.559; \mathrm{p} = 1.000$), pelo que não se rejeita a hipótese nula de que o modelo se ajusta aos dados, ainda que a utilização destes testes seja desaconselhada face ao ainda elevado número de células com frequências nulas (43,0%) no modelo reduzido, apesar de se ter conseguido uma substancial redução relativamente ao modelo completo. A hipótese das chances proporcionais foi validada ($X^2_{LP}(18) = 25.112; \mathrm{p} = 0.122$) pelo teste das linhas paralelas (ver Tabela 41, Anexo IV).

Da Tabela 35 no Anexo III verifica-se que o modelo final reduzido é constituído por um subconjunto de variáveis independentes do modelo completo, observando-se que a variação na gravidade das lesões dos condutores de VDRM vítimas de acidente pode estar associada a um factor relacionado com o veículo, a três factores humanos e a três factores ambientais. Na verdade, de acordo com este modelo de regressão ordinal, a motorização do VDRM, ou neste caso e de forma mais abrangente, o tipo de VDRM é um factor importante na gravidade das lesões do condutor em caso de acidente, verificando-se que para a categoria Motociclo, relativamente à categoria de referência Ciclomotor, a razão das chances das categorias de ordem inferior da variável dependente relativamente às categorias de ordem superior desta diminui 33,8% (OR=0.662) quando o VDRM é um motociclo (independentemente da sua cilindrada ou potência) em vez de um ciclomotor, controlando as restantes variáveis do modelo. Pode-se também dizer que, em acidentes dos quais resultam lesões para o condutor do VDRM, a probabilidade de se observarem as categorias de ordem superior da variável dependente relativamente às de ordem inferior aumenta 66,2% quando o VDRM conduzido é um motociclo relativamente aos ciclomotores e uma vez que esta associação entre as variáveis é estatisticamente significativa (p=0.000) existe considerável confiança para afirmar que em caso de acidente com VDRM e em que resultem lesões no seu condutor, os condutores de motociclos são mais favoráveis à ocorrência de lesões mais graves que os condutores de ciclomotor. O IC de 95% (0.608 - 0.720) sugere que esta diferença pode ser tão pequena como 60,8% ou tão grande como 72,0% de maior probabilidade de ocorrência de lesões mais graves em condutores de motociclo, quando comparados com os ciclomotores. Dada a validade do princípio das odds proporcionais, as OR são constantes para todas as categorias da variável dependente, logo o mesmo aumento de 66,2% verifica-se entre a categoria de ordem superior (Morto) e as restantes de menor ordem combinadas (Ferido leve e Ferido grave) ou entre as categorias de ordem superior combinadas (Morto e Ferido grave) e a categoria de ordem inferior (Ferido leve).

Entre os factores humanos, os resultados mostram que por cada condutor de VDRM do género feminino que sofre lesões num acidente relativamente aos condutores do género masculino, a probabilidade de se observarem categorias de menor ordem da variável dependente

comparativamente à probabilidade de se observarem as categorias de ordem superior aumenta 113% (OR=2.130, p=0.000), revelando um efeito estatisticamente significativo do género do condutor de VDRM na gravidade das lesões em caso de acidente, em que um condutor do género feminino tem mais do dobro da probabilidade de sofrer lesões de menor gravidade que um condutor do género masculino, controlando as restantes variáveis do modelo. Relativamente ao uso do capacete, os resultados da regressão ordinal são evidentes ao mostrar que em caso de acidente, quando o condutor do VDRM não utiliza capacete existe uma associação significativa com a ocorrência de lesões de maior gravidade relativamente aos condutores que utilizam capacete (OR=0.174, p=0.000), controlando as restantes variáveis do modelo. Portanto, a não utilização de capacete em caso de acidente com VDRM aumenta a probabilidade do seu condutor sofrer lesões graves ou morrer comparando com os condutores que nas mesmas circunstâncias utilizam capacete. Por último, entre as manobras realizadas pelos condutores de VDRM antes do acidente, constata-se que o modelo de regressão ordinal indica uma influência estatisticamente significativa das manobras de mudança de direcção à esquerda (OR = 0.773, p=0.012), circulação em sentido oposto (OR=0.319, p=0.000), VDRM atravessando a via (OR=0.388, p=0.000) e mudança de via, na qual se inclui a mudança de via para a esquerda, para a direita, desvio brusco ou saída de fila de trânsito (OR=0.668, p=0.000), na maior gravidade das lesões em relação aos condutores que sofreram lesões em acidentes ocorridos com o VDRM em marcha normal, controlando as restantes variáveis do modelo. As restantes manobras consideradas apresentam uma associação com a variável dependente que não é estatisticamente significativa relativamente à marcha normal, pelo que não é possível formar conclusões robustas sobre a possível influência destas manobras nas lesões.

Os resultados da aplicação da regressão ordinal ao modelo reduzido mostram ainda que existem três factores ambientais importantes na gravidade das lesões dos condutores de VDRM. Verifica-se uma relação positiva entre o período nocturno e a gravidade das lesões relativamente ao período diurno, sendo que para se ser mais preciso, o período nocturno refere-se aos períodos com piores condições de iluminação, pois nesta categoria está englobada a noite (com ou sem iluminação artificial), a aurora e o crepúsculo. Esta relação positiva traduz-se no aumento da probabilidade do condutor de VDRM sofrer lesões de maior gravidade se o acidente ocorrer no período nocturno do que se este ocorrer durante o dia (OR=0.624, p=0.000), controlando as restantes variáveis do modelo. Os acidentes ocorridos ao fim de semana (Sábado e Domingo) apresentam também uma influência estatisticamente significativa na maior gravidade das lesões do condutor de VDRM relativamente aos acidentes ocorridos nos restantes dias da semana (OR=0.668, p=0.000), enquanto se controlam as restantes variáveis do modelo. A força desta associação é semelhante à relação verificada para as condições de iluminação, pois em acidentes com VDRM ocorridos durante a Noite ou ao Fim de semana em comparação, respectivamente, com o Dia ou os Dias úteis, verifica-se que a probabilidade de ocorrência de lesões de maior gravidade no condutor aumenta em mais de 60%. Finalmente, verifica-se que o período do ano tem influência na gravidade das lesões resultantes, pois existe uma associação estatisticamente significativa no sentido da maior gravidade das lesões nos condutores vítimas de acidente no período de Julho a Setembro (O=0.857 p=0.009), em relação ao período de Janeiro – Março, controlando as restantes variáveis do modelo. Os restantes trimestres do

ano não apresentam uma significância estatística satisfatória, logo e pelo menos no que diz respeito a este modelo, não podemos retirar nenhuma conclusão firme sobre a sua influência efectiva na gravidade das lesões dos condutores de VDRM vítimas de acidente.

2.2.4 Discussão

A análise de regressão ordinal permite estimar a probabilidade associada à variação da gravidade das lesões do condutor de VDRM dada a influência de um determinado factor entre um conjunto de potenciais factores de risco, indo-se assim para além da habitualmente realizada análise de evoluções temporais do número de vítimas e acidentes, negligenciando o peso estatístico das evidências verificadas e as possíveis correlações entre as variáveis. Com a aplicação do método de regressão ordinal à amostra constituída por acidentes de VDRM em que os respectivos condutores sofreram lesões, ocorridos no período 2007-2010, pretendeu-se identificar os principais factores que podem influenciar a gravidade das mesmas e assim contribuir para a elaboração de medidas de prevenção rodoviária dedicadas aos VDRM e direccionadas para a actuação eficaz sobre os factores críticos que afectam a gravidade dos acidentes com estes veículos, além de aumentar o conhecimento sobre esta problemática em Portugal.

O modelo de regressão ordinal com a função *logit* reduzido foi o melhor modelo obtido de entre os candidatos e como qualquer modelo, é uma representação da realidade e os seus resultados hipóteses, mas a partir das quais, dada a significância estatística e consistência geral do modelo, é possível retirar conclusões e alertas com maior propriedade e confiança. Assim, com base neste modelo, verifica-se que o tipo de VDRM contribui significativamente para que as lesões do seu condutor sejam de maior gravidade em caso de acidente e mais concretamente, quando o VDRM é um motociclo, por comparação com os ciclomotores. A esta diferença não será alheia a velocidade máxima atingida por cada tipo de veículo, a qual é caracteristicamente superior nos motociclos e cuja contribuição para a maior gravidade das lesões é reconhecida, tal como referido por Fuller *et al*. (2008) e Broughton *et al*. (2009). A maior capacidade dos motociclos em termos de motorização traduz-se em maiores velocidades atingidas e consequentemente, numa maior probabilidade de ocorrência de acidentes e lesões graves nos condutores de VDRM, como sugerido por Pang *et al*. (2000), Langley *et al*. (2000), Quddus, Noland e Chin (2002) e De Lapparent (2006) e compatível com o presente trabalho, mas contrariando assim as conclusões do relatório MAIDS (ACEM, 2009). Os resultados obtidos no modelo completo, apesar de não permitirem demonstrar uma relação clara entre o aumento da capacidade do motociclo, em termos de cilindrada ou relação peso/potência e o risco de lesões graves para o condutor, sugerem-na, pois são os motociclos com mais de 50 cm^3 e potência não limitada que apresentam com maior destaque uma associação com lesões de maior gravidade, o que se conjuga com o facto de veículos com maior capacidade em termos de velocidade e maior massa produzirem mais energia cinética a ser absorvida quando ocorre um acidente (De Lapparent, 2006) e acabando assim por reforçar a existência de um nexo causal entre a velocidade e a gravidade das lesões. O efeito benéfico do congestionamento do trânsito na redução dos acidentes graves com VDRM devido à redução da velocidade de circulação verificado em trabalhos como o de Albalate e Fernández-Villadangos (2010) é também revelador da importância da velocidade na

gravidade das lesões. Tem-se portanto que, apesar de o factor importante e visível na investigação realizada ser o tipo de VDRM, a influência efectiva na gravidade das lesões será exercida pelo factor humano, no sentido em que a gestão da capacidade do veículo depende do condutor e da sua propensão para praticar velocidades elevadas e outros comportamentos de risco.

Os resultados da presente investigação são idênticos aos trabalhos anteriores de Quddus, Noland e Chin (2002), Yau (2004), Fuller *et al*. (2008) e Albalate e Fernández-Villadangos (2010) no sentido em que se verificou que o género do condutor do VDRM é um potencial factor de risco para a ocorrência de lesões graves em caso de acidente, estando os condutores do género masculino significativamente associados à maior gravidade das lesões. O tipo de condução praticada pelos condutores de VDRM do género masculino, menos cautelosa e como identificado por Fuller *et al*. (2008), realizada a velocidades superiores às praticadas pelas condutoras, será preponderante para a diferença de género verificada na gravidade das lesões.

A aplicação da regressão ordinal ao modelo reduzido mostra também que a utilização de capacete é determinante na gravidade das lesões dos condutores de VDRM, apresentando os condutores sem capacete um risco significativamente superior de sofrer lesões graves ou morrer num acidente do que os condutores que utilizam capacete. Esta relação entre a não utilização de capacete e a gravidade das lesões já foi extensamente estudada e reconhecida por diversos autores, entre os quais Yau (2004), Keng (2005), Lin e Kraus (2009), DeMarco *et al*. (2010) e Pinnoji e Mahajan (2010).

As condições de iluminação, o período do ano e o dia da semana em que ocorre o acidente apresentam uma relação significativa com a gravidade das lesões dos condutores de VDRM. O risco de ocorrência de lesões graves é maior em acidentes ocorridos em condições de reduzida iluminação (noite, aurora e crepúsculo), aos fins-de-semana e ainda no período de Julho a Setembro. A reduzida conspicuidade dos VDRM é um factor importante associado ao risco de acidente (Wells *et al*., 2004) que conjugada com as condições de pior iluminação relativamente ao dia poderá explicar a maior probabilidade do condutor sofrer lesões graves em caso de acidente. De Lapparent (2006) verificou também um risco superior de acidentes graves com motociclos durante a noite relativamente ao dia, ao qual associou, para além do papel da reduzida visibilidade, os limites fisiológicos dos motociclistas, cuja capacidade de antecipar e reagir a veículos que surgem subitamente à noite é inferior à dos restantes condutores. O facto de o tráfego ser reduzido neste período e principalmente de madrugada também pode ter influência, pois são maiores as oportunidades para conduzir a velocidades elevadas, algo que também foi adiantado por De Lapparent (2006). O maior risco do condutor de VDRM sofrer lesões graves em acidentes ocorridos ao fim de semana, parâmetro que está englobado nos factores ambientais, dependerá mais do factor humano, uma vez que a condução ao fim de semana terá um fim predominantemente recreativo em comparação com os restantes dias da semana e verificar-se-á consequentemente uma maior propensão para descurar a segurança em detrimento do prazer de condução, associada a outras actividades lúdicas e comportamentos de risco, como previamente identificado por Yau (2004) e Fuller *et al*. (2008). Além dos pontos especificados anteriormente, na relação entre a gravidade das lesões e os acidentes ocorridos ao fim de semana pode estar presente a influência da experiência do condutor do VDRM, uma vez que neste contexto a utilização do VDRM será ocasional, logo, as capacidades e conhecimento na

condução do veículo não estarão tão desenvolvidas como as de um condutor habitual. O mesmo se pode transpor para a maior gravidade apontada ao período de Julho a Setembro. Os trimestres considerados na análise de regressão ordinal acabam por reflectir as diferentes estações do ano e as condições meteorológicas características, correspondendo o período em destaque ao Verão. Albalate e Fernández-Villadangos (2010) não verificaram que as condições meteorológicas fossem um factor importante na gravidade das lesões, o que foi atribuído ao facto de a maioria dos condutores de VDRM alterar o tipo de transporte consoante as condições meteorológicas, de forma a evitar a chuva, por exemplo ou adequar a sua condução de forma a preservar a sua segurança. Ao mesmo tempo, os que conduzem nas piores condições adaptarão a sua condução, por exemplo, reduzindo a velocidade (De Lapparent, 2006), o que se reflectirá na gravidade das lesões em caso de acidente. Nas melhores condições, que em Portugal se verificam precisamente no Verão, é facilitada a utilização mais frequente dos VDRM aos condutores ocasionais, estando então latentes nesse período os factores que influenciam a gravidade das lesões referidos anteriormente.

Por último, dos factores críticos na gravidade das lesões dos condutores de VDRM em caso de acidente, obtidos com base no modelo reduzido, verifica-se que as manobras de mudança de direcção à esquerda, mudança de via (para a esquerda, para a direita, desvio brusco ou saída de fila de trânsito), circulação em sentido oposto e o VDRM atravessando a via estão significativamente associadas com lesões de maior gravidade quando comparadas com o VDRM em marcha normal. As situações de mudança de via e circulação em sentido oposto implicam a transposição, por parte do VDRM, da via onde circule outro veículo, pelo que é evidente o potencial risco de conflito e a detecção súbita do VDRM por parte dos condutores dos outros veículos que reduz a margem para realizar manobras de evasão ou a imobilização do veículo. A maior gravidade associada ao VDRM atravessando a via é mais obscura, dado não ser perceptível em concreto o tipo de manobra em questão, no entanto depreende-se que diga respeito aos acidentes ocorridos em intersecções, em que o VDRM circula sem mudar de direcção numa via que entronca naquela em que progride o outro veículo. Portanto, a maior gravidade nos acidentes em que os condutores de VDRM se encontravam a atravessar a via e também na situação em que realizavam uma mudança de direcção à esquerda, poderá estar relacionada com o que foi verificado por Hurt, Ouellet e Thom (1981) e Clarke *et al*. (2004), ou seja, de que a maioria das colisões entre veículos ligeiros e motociclos resultou da violação da prioridade do motociclista devido, predominantemente, à falha de percepção por parte do condutor do outro veículo, para a qual a reduzida conspicuidade do VDRM desempenhou também um papel fundamental. A maior gravidade associada a estas duas últimas manobras pode também fazer um paralelismo com as conclusões da análise estatística descritiva realizada anteriormente, em que se destaca a colisão lateral com outro veículo em movimento como o tipo de acidente com maior número de mortos e feridos graves entre os VDRM no período em análise.

As conclusões principais sobre a importância dos factores em análise são portanto as obtidas a partir do modelo reduzido, sendo os factores em que se detectou uma associação estatisticamente significativa, os críticos e prioritários a considerar nos planos de actuação e prevenção. Porém, alguns factores sugeridos como relevantes pela análise de regressão ordinal ao modelo completo são até consistentes com outros trabalhos encontrados na literatura, pelo que a sua inclusão em medidas

secundárias pode servir como alerta aos condutores de VDRM e a contribuição para a sua segurança poderá ser superior do que se fossem simplesmente descuradas (Bernardo e Dias, 2012a). Como exemplo, temos que é possível a partir do modelo completo avançar apenas a suposição de que a maior probabilidade de lesões de maior gravidade pertence aos condutores com 7 a 20 anos de carta, quando comparados com os condutores menos experientes (1 ano ou menos), o que pode estar relacionado com a relaxação das precauções com o tempo, a perda de certas capacidades com a idade (Lee *et al*., 2003) ou ainda o fenómeno do regresso à condução de VDRM de condutores que durante vários anos não utilizaram este tipo de veículos, carecendo então de experiência específica (Huang e Preston, 2004). Portanto, estes resultados sugerem que nas campanhas de prevenção deve ser considerado um reforço na atenção dada aos condutores com mais anos de carta.

Os principais resultados obtidos relativamente à associação entre a gravidade das lesões dos condutores de VDRM vítimas de acidente e os factores considerados no modelo de regressão ordinal reduzido encontram-se resumidos na Tabela 11.

Tabela 11 – Principais resultados obtidos com o modelo de regressão ordinal.

Factor	Resultados
Motociclo	66,2% maior probabilidade de lesões mais graves
Género feminino	113,0% maior probabilidade de lesões menos graves
Uso de capacete	17,4% maior probabilidade de lesões mais graves
Mudança de direcção para a esquerda	77,3% maior probabilidade de lesões mais graves
Mudança de via	66,8% maior probabilidade de lesões mais graves
Circulação em sentido oposto	31,9% maior probabilidade de lesões mais graves
Atravessando a via	38,8% maior probabilidade de lesões mais graves
Noite	62,4% maior probabilidade de lesões mais graves
Julho - Setembro	85,7% maior probabilidade de lesões mais graves
Fim-de-semana	66,8% maior probabilidade de lesões mais graves

Na investigação realizada, utilizando a regressão ordinal, foi quantificada a probabilidade de ocorrência de lesões graves para os factores estatisticamente significativos, estabelendo-se assim a base necessária para formular planos de prevenção sustentáveis e medidas apropriadas e direccionadas para as características particulares dos VDRM e vulnerabilidade dos seus condutores, que produzam resultados eficazes. Os resultados deste trabalho confirmam na sua generalidade os resultados de trabalhos anteriores, transpostos agora para a realidade nacional.

2.2.5 Limitações

O trabalho desenvolvido na presente investigação constitui uma primeira abordagem na aplicação de métodos de regressão na análise da sinistralidade rodoviária em Portugal e em particular, aos acidentes com VDRM e as metodologias aplicadas apresentam limitações ou possuem métodos alternativos, tal como acontece em qualquer trabalho do género.

O elevado número de células vazias que se verificou na aplicação da regressão ordinal limitou a avaliação da qualidade do ajuste dos modelos. Dada a dimensão da amostra utilizada, revela-se impossível controlar e eliminar todas as inevitáveis combinações de variáveis com frequência nula,

mas ainda assim as medidas de ajuste dos modelos foram satisfatórias, podendo-se tirar conclusões desde que se tenha consciência das suas limitações.

Com o objectivo de reduzir a imprecisão das estimativas obtidas e o número global de células vazias eliminaram-se os casos com parâmetros vazios ou não definidos na base de dados. Porém, existem outros métodos reconhecidos e recomendados para abordar o problema dos valores em falta, nomeadamente, o método da máxima verosimilhança ou os métodos de imputação múltipla, mas cuja aplicação é de elevada complexidade quando comparados com os métodos convencionais (Gao e Hui, 1997 e Allison, 2001).

A regressão ordinal está estritamente fundamentada no princípio das chances proporcionais, tendo sido por isso considerado como o critério principal para obtenção do modelo final, contudo, na falha da verificação desta hipótese existem alternativas a considerar, como a regressão logística multinomial, menos restritiva que a regressão ordinal mas que negligencia a possível ordinalidade da variável dependente e o modelo de chances proporcionais parciais (não implementado no SPSS), que permite que alguns coeficientes de regressão sejam iguais para todas as categorias da variável dependente (Norusis, 2004; Liu e Agresti, 2005; Williams, 2006 e O'Connell, 2006).

As restantes limitações deste trabalho derivam principalmente da constituição da base de dados da ANSR, verificando-se a indisponibilidade de certas informações que devem ser realçadas para consideração em estudos futuros. Para identificar factores de risco para todos os condutores de VDRM seria necessário considerar grupos de controlo constituídos por condutores de VDRM não envolvidos em acidentes, aleatoriamente seleccionados na mesma população e no mesmo período em análise, tal como realizado no relatório MAIDS (ACEM, 2009) para obter dados de comparação.

A informação sobre a gravidade das lesões dos condutores de VDRM presente na base de dados, como é proveniente dos registos policiais, limita-se à sua classificação numa escala de três categorias de gravidade, pelo que uma forma possível de aprofundar o detalhe desta avaliação seria combinar estes dados com os registos hospitalares, relatórios de exames médicos e de autópsias.

Seria também vantajoso em futuras análises desagregar completamente os VDRM por cilindrada, potência e relação potência/peso e assim possivelmente avaliar com mais rigor o impacto de certas variáveis na gravidade das lesões, como por exemplo, a aplicação da “Lei das 125”.

Outros potenciais factores influenciadores da gravidade das lesões impossíveis de analisar no presente trabalho são: os anos do VDRM; velocidade do VDRM e dos outros veículos directamente envolvidos no acidente; quilómetros percorridos, número de horas contínuas de condução e infracções cometidas pelo condutor do VDRM antes do acidente; condições de trânsito; qual o outro veículo envolvido no acidente, respectivo número de vítimas e gravidade das lesões e por último, qual a causa principal do acidente.

3 Modelos computacionais e respectivo fundamento teórico

Para avaliar o comportamento biomecânico do condutor do VDRM num impacto e analisar a gravidade das lesões resultantes com base nos níveis de aceleração a que este está sujeito ou na reconstituição computacional de acidentes de viação, a utilização de programas como o PC-Crash é uma possibilidade, o qual tem subjacentes conceitos teóricos, nomeadamente de conservação de momento e dinâmica de corpos múltiplos relativamente aos quais e à implementação dos mesmos no programa PC-Crash é feita de seguida uma breve apresentação.

3.1 Dinâmica de corpos múltiplos

Um sistema de corpos múltiplos é um conjunto de corpos rígidos independentes entre si ou interligados através de juntas cinemáticas, tal como se pode verificar nos exemplos da Figura 3.1.

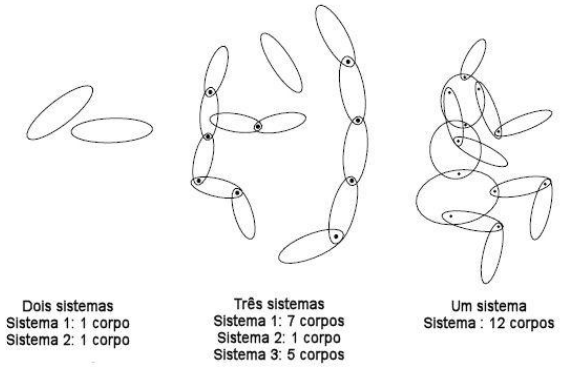


Figura 3.1 – Sistemas de corpos múltiplos.

Os graus de liberdade entre os corpos de um dado sistema são definidos pelo tipo de junta cinemática que os une. Por sua vez, o corpo rígido é definido através da sua massa, localização do centro de gravidade, momentos de inércia e produtos de inércia. A forma do corpo rígido não é relevante para as equações de movimento, mas apenas se este estabelece contacto com outro corpo. A cada corpo está associado um referencial local, $\xi_i \eta_i \zeta_i$, associado a um sistema de coordenadas global, XYZ, o qual permite controlar a posição do corpo, podendo-se desta forma localizar um sistema de corpos múltiplos no espaço.

A localização e orientação do sistema são feitas com recurso a dois vectores, r_i (equação (3.1) e p_i (equação (3.2), que expressam, respectivamente, as coordenadas de translação e de orientação ou parâmetros de *Euler*.

$$r_i = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix}_i^T \tag{3.1}$$

$$p_i = \begin{bmatrix} e_0 & e_1 & e_2 & e_3 \end{bmatrix}_i^T \tag{3.2}$$

O vector de coordenadas associadas ao corpo rígido *i* é definido pela equação (3.3:

$$\{q\}_i = [\{r\}_i, \{p\}_i]^T = [x, \ y, \ z, \ e_0, \ e_1, \ e_2, \ e_3]^T \tag{3.3}$$

De modo a localizar um ponto arbitrário P do corpo rígido i procede-se à soma vectorial entre o vector de localização deste ponto no referencial local, $\xi_i \eta_i \zeta_i$, e o vector que posiciona o referencial local em relação ao de inércia, XYZ, estando esquematizada na Figura 3.2 a posição do ponto P relativamente ao referencial de inércia.

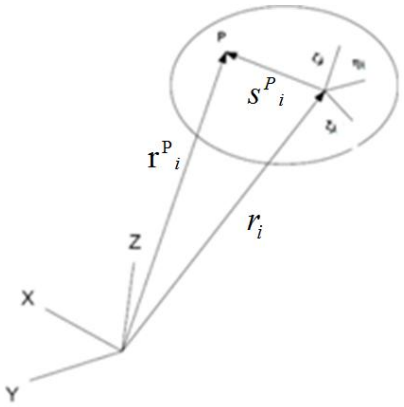


Figura 3.2 – Localização de um ponto genérico P relativamente ao referencial de inércia.

A posição relativa do ponto P ao referencial de inércia é dada então pela equação (3.4:

$$r^P{}_i = r_i + s^P{}_i \tag{3.4}$$

A equação anterior pode ainda ser descrita na seguinte forma matricial (equação (3.5):

$$\left[r^P\right]_i = \{r\}_i + [A]_i \left\{s^P\right\}_i \tag{3.5}$$

A orientação entre o referencial local e o sistema de coordenadas global é dada pela matriz $[A]_i$, cujas entradas são definidas do modo descrito na equação (3.6:

$$[A] = \begin{bmatrix} 2\left(e_0^2 + e_1^2\right) - 1 & 2(e_1 e_2 - e_0 e_3) & 2(e_1 e_3 + e_0 e_2) \\ 2(e_1 e_2 - e_0 e_3) & 2\left(e_0^2 + e_2^2\right) - 1 & 2(e_2 e_3 + e_0 e_1) \\ 2(e_1 e_e + e_0 e_2) & 2(e_2 e_3 + e_0 e_1) & 2\left(e_0^2 + e_3^2\right) - 1 \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

Para determinar a velocidade e a aceleração do ponto P, recorre-se, respectivamente, às derivadas de 1ª e 2ª ordem da equação de posição do ponto P (equação (3.4). Assim a equação (3.7 expressa a velocidade do ponto P, onde ω_i é a velocidade angular do corpo *i* e a equação (3.8 corresponde à aceleração do ponto P.

$$\dot{r^P} = \dot{r} + \omega_i \times s^P i \tag{3.7}$$

$$\ddot{r}^{P} = \ddot{r}_i + \dot{\omega}_i \times s^{P}{}_i + \omega_i \times \left(\omega_i \times s^{P}{}_i\right) \tag{3.8}$$

Para a simulação computacional com recurso aos corpos múltiplos, cada corpo é representado por um elipsóide que possui um coeficiente de rigidez próprio (utilizado para calcular as forças de contacto), dois coeficientes de atrito (um relativo ao contacto corpo-veículo e outro para o contacto corpo-solo) e as forças aplicadas em cada corpo, nomeadamente, a força gravítica e forças de contacto, de atrito e as forças aplicadas nas juntas cinemáticas são calculadas para cada instante de integração.

A teoria da dinâmica de corpos múltiplos apresentada anteriormente de forma resumida encontra-se explicada de forma aprofundada em (Nikravesh, 1988) e a sua implementação no programa PC-Crash no respectivo manual técnico (Datentechnik, 2001).

3.2 Conservação do momento

O modelo de impacto utilizado pelo programa PC-Crash - modelo de impacto Kudlich-Slibar - consiste num modelo de impacto bidimensional ou tridimensional, baseado na conservação do momento e no coeficiente de restituição (Datentechnik, 2001). Estes conceitos são abordados, de seguida, de forma simplificada.

O impacto pode ser dividido em duas fases distintas, a fase de compressão e a fase de restituição. Num impacto não tangencial, no fim da fase de compressão as velocidades de ambos os veículos no ponto de impulso são idênticas. Na fase de restituição há a recuperação elástica das estruturas após o impacto e a separação dos veículos. O coeficiente de restituição ε é definido como a razão entre o impulso de restituição π_R e o impulso de compressão π_C da seguinte forma:

$$\varepsilon = \frac{\pi_R}{\pi_C} \tag{3.9}$$

Em termos de velocidades, o coeficiente de restituição ε corresponde à razão entre as velocidades relativas pré e pós impacto ($v_R^{(-)}$ e $v_R^{(+)}$), respectivamente, resultando então:

$$\varepsilon = -\frac{v_R^{(+)}}{v_R^{(-)}} \tag{3.10}$$

- se $\varepsilon = 0 \Rightarrow v_R^{(+)} = 0$, a colisão é inelástica e os corpos seguem juntos. No caso concreto da colisão entre veículos, para velocidades de impacto elevadas caracteristicamente tem-se $\varepsilon \approx 0$ e a energia cinética transforma-se em energia de deformação.

- se $\varepsilon = 1 \Rightarrow v_R^{(+)} = -v_R^{(-)}$ e a colisão é perfeitamente elástica.

Para pequenas/médias velocidades, temos 0 < ε < 1, existindo uma componente elástica na colisão, ocorrendo a projecção dos veículos e a mudança da sua trajectória após o impacto.

No que diz respeito à conservação do momento, tem-se primeiramente que a forma canónica das equações da dinâmica é dada por:

$$\begin{aligned} \dot{p} &= M\ddot{\theta} + \dot{M}\dot{\theta} \\ \dot{p} &= f + \dot{M}\dot{\theta} \end{aligned} \tag{3.11}$$

O momento linear do sistema formado pelos corpos 1 e 2 é então dado por:

$$\begin{aligned} p_1 &= m_1 v_1 \\ p_2 &= m_2 v_2 \end{aligned} \Rightarrow \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & \\ & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{Bmatrix} \Rightarrow p = M\dot{\theta} \tag{3.12}$$

Resulta então que a variação do momento linear é dada por: $\Delta p = M\Delta\dot{\theta}$ (3.13)

Pela 3ª Lei de Newton ou Lei da Acção-Reacção, numa colisão as forças exercidas entre os corpos têm a mesma magnitude e direcção mas sentidos opostos tal como os impulsos destas forças. O impulso, por sua vez, corresponde à actuação de uma força F num determinado intervalo de tempo e por definição pode ser dado por:

$$\text{Impulso} = \int_{t_1}^{t_2} F dt \tag{3.14}$$

E como

$$F = m\,a = m\frac{dv}{dt} \tag{3.15}$$

Vem

$$\text{Impulso} = \int_{t_1}^{t_2} F dt = \int_{v_1}^{v_2} m dv = m v_2 - m v_1 \tag{3.16}$$

Uma vez que não sejam aplicadas forças externas ao sistema, as forças impulsivas aplicadas no impacto são de natureza activa-reactiva ou seja, são internas e há conservação do momento. Logo o momento é constante em magnitude e direcção e o centro de massa do sistema permanece sempre com a mesma velocidade a não ser que seja actuado por uma força externa (Franck e Franck, 2010). Sendo P o somatório dos momentos, a conservação do momento no impacto vem:

$$\Delta P = m_1\Delta v_1 + m_2\Delta v_2 = 0 \Leftrightarrow m_1 v_1^{(-)} + m_2 v_2^{(-)} = m_1 v_1^{(+)} + m_2 v_2^{(+)} \tag{3.17}$$

Considerando dois veículos de massas m_1 e m_2, respectivamente, na análise do impacto entre ambos é possível a determinação dos parâmetros pós-impacto partindo da definição das condições pré-impacto.

4 Investigação aprofundada de acidentes com VDRM

A análise estatística dos acidentes permite avaliar a evolução da sinistralidade rodoviária e o desempenho das medidas aplicadas. Contudo, corresponde a uma primeira fase de investigação, em que falta informação fundamental para aumentar o nível de detalhe e compreensão das particularidades ligadas aos acidentes com VDRM, dadas as limitações impostas por eventos aos quais as autoridades policiais não têm acesso no local do acidente, como as velocidades pré-impacto, a causa do acidente e a responsabilidade da sua ocorrência. Surge assim a exigência de uma investigação aprofundada que permita analisar aspectos ausentes na mera análise estatística.

Portanto, é neste campo de aplicação específico, estando identificado o problema da sinistralidade com VDRM, que a Engenharia assume um papel fundamental para a sua solução, podendo actuar de duas formas possíveis: após o acidente, conjugando a investigação com simulações computacionais no sentido de esclarecer como este ocorreu, isolar os factores essenciais para a sua ocorrência e determinar responsabilidades; preventivamente, recriando situações de impacto para analisar e avaliar a influência de determinados parâmetros na ocorrência dos acidentes com VDRM e nos níveis de lesão resultantes, a eficácia das soluções relativas à segurança dos utilizadores de VDRM actualmente disponíveis ou projectando novas soluções de uma forma simples, eficiente e economicamente viável. Os resultados das reconstituições de acidentes têm também um interesse social, contribuindo como suporte à definição de políticas e procedimentos com o objectivo de reduzir as elevadas taxas de sinistralidade rodoviária associadas aos VDRM bem como para a divulgação pela população do risco envolvido na condução destes veículos para que ocorra um sentimento de necessidade de aplicação de todas as medidas possíveis na mitigação do mesmo.

4.1 Metodologia aplicada na investigação e reconstituição computacional de acidentes com VDRM

No NIAR do IDMEC, IST, é realizada continuamente uma investigação de acidentes a partir de uma amostra restrita de casos reais usando ferramentas de reconstituição computacional de acidentes. A metodologia utilizada na investigação aprofundada destes acidentes tem como base a metodologia MAIDS (ACEM, 2003) e os objectivos deste tipo de investigação, mas na sua aplicação assemelha-se ao trabalho realizado por Clarke *et al*. (2004). Não existem equipas multidisciplinares a deslocarem-se ao local do acidente imediatamente após a sua ocorrência, sendo a investigação de um determinado caso realizada quando solicitada. A metodologia adoptada para a investigação e reconstituição computacional dos acidentes é então tratada como um processo de optimização tal como esquematizado no fluxograma da Figura 4.1, com as velocidades e posições pré-impacto a constituírem os parâmetros variáveis. O procedimento aplicado passa pela análise dos registos pós-acidente cedidos pelas autoridades, como o croqui do acidente, as fotografias da via e dos veículos, bem como os relatórios de autópsia, de cuja qualidade depende a precisão dos resultados obtidos, seguindo-se a construção do cenário do acidente com base nestes dados e a realização de simulações computacionais.

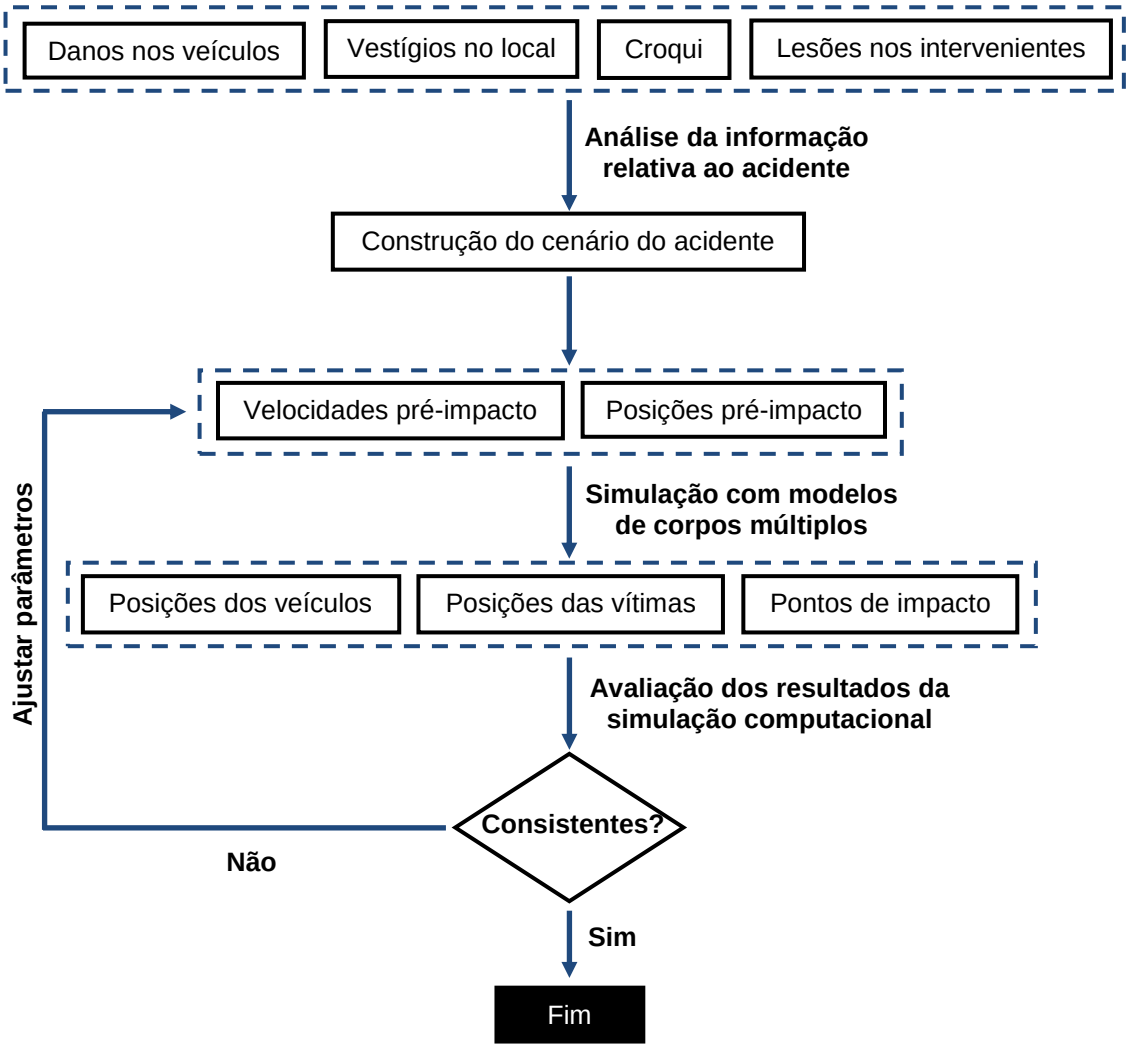


Figura 4.1 – Fluxograma das etapas do processo aplicado na reconstituição dos acidentes reais.

Na reconstituição computacional dos acidentes é utilizado o programa PC-Crash, em que as simulações são efectuadas com base numa análise dinâmica directa da evolução temporal das trajectórias dos veículos intervenientes, podendo ser feitos ajustes, dentro dos limites aceitáveis, de alguns parâmetros físicos que caracterizam a colisão e as condições dinâmicas que condicionam os movimentos pré e pós colisão. Trata-se de uma ferramenta computacional aceite cientificamente no âmbito da reconstituição de acidentes e validado em conferências científicas internacionais, nomeadamente, nas conferências de 1996 e 1999 da SAE, onde foram validados, respectivamente, o programa propriamente dito (Clief e Montgomery, 1996) e a utilização da dinâmica de corpos múltiplos na reconstituição de acidentes rodoviários (Moser, Steffan e Kasanicky, 1999). Portanto, neste programa é possível recorrer a modelos de veículos com características técnicas semelhantes às dos veículos reais e a modelos de corpos múltiplos tridimensionais incluindo modelos biomecânicos do corpo humano para simular os acidentes que envolvem sistemas complexos, como é o caso dos VDRM, os seus ocupantes e/ou peões.

A reconstituição de acidentes envolvendo VDRM é bastante complexa, uma vez que pelas suas características geométricas é frequente o movimento tridimensional pós impacto, influenciado por variações mínimas das condições iniciais do acidente, como o ponto principal de impacto,

velocidade dos veículos e posição inicial, resultando também que as deformações presentes no veículo não indicam necessariamente a sua direcção de circulação antes da colisão. Dada a inerente elevada probabilidade de projecção dos seus utilizadores em caso de colisão, a aplicação de modelos biomecânicos é fundamental para compreender como ocorreu determinado acidente.

No presente trabalho foram realizadas reconstituições de acidentes reais com VDRM inseridos no âmbito de processos judiciais utilizando o programa PC-CRASH, versão 8.0 e 9.0 e foi possível compilar uma amostra de 53 casos numa base de dados, tendo sido realizada a investigação de 16 destes acidentes no decorrer deste trabalho, os quais foram adicionados aos restantes 37 casos reconstituídos anteriormente no NIAR e seleccionados considerando a respectiva quantidade e detalhe de informação. Para incluir o máximo de casos na amostra, consideraram-se casos de acidente com VDRM ocorridos entre 1998 e 2008 em que o condutor do mesmo sofreu lesões leves, graves ou morreu (considerando o conceito de "Mortos a 30 dias"), mas incluindo também casos em que o condutor do VDRM não sofreu qualquer lesão relevante, tal como é observável na Tabela 12.

Tabela 12 - Gravidade das lesões dos condutores de VDRM.

Gravidade das lesões	N	%
Sem lesões	2	3,8
Ferido Leve	12	22,6
Ferido Grave	14	26,4
Morto	25	47,2
Total	53	100

A disponibilidade desta variedade de casos no que diz respeito às lesões do condutor do VDRM deve-se ao facto da maior gravidade do acidente cuja investigação é solicitada ser por vezes relativa não ao condutor do VDRM, mas ao passageiro deste, aos ocupantes de outro veículo e/ou outros utilizadores da via. A presente amostra consegue então abranger todos os condutores de VDRM envolvidos em acidente independentemente da gravidade das lesões, ao contrário da análise de regressão ordinal realizada. Porém, o número reduzido de casos que constituem a amostra limita os métodos estatísticos aplicáveis e logo, a abrangência das conclusões obtidas. A dimensão reduzida da presente amostra é evidente quando comparada com alguns dos principais trabalhos focados na determinação dos mecanismos dos acidentes e lesões, como o relatório MAIDS (ACEM, 2009), com 921 acidentes recolhidos, investigados detalhadamente e compilados e ainda o trabalho realizado por Clarke *et al*. (2004) ou o projecto COST 327 (European Comission, 2001), cujas amostras são constituídas por 1003 e 253 acidentes, respectivamente. Tem-se ainda no guia para investigações aprofundadas de acidentes com VDRM correntemente a ser desenvolvido pela OCDE a indicação para que sejam realizadas no mínimo 100 investigações e recomendada a realização de 360 investigações pois nas amostras com um número de casos inferior ao mínimo indicado é difícil detectar diferenças estatisticamente significativas. Na presente análise verificou-se precisamente que não foi possível assegurar a significância estatística das associações obtidas ao correlacionar as variáveis em estudo em termos de gravidade das lesões do condutor, recorrendo a testes de associação como o teste do Chi-Quadrado, pois as relações entre as variáveis estão condicionadas

pelas reduzidas frequências na amostra. Uma das condições para a validade do teste do Chi-quadrado é que a frequência mínima esperada não deve ser inferior a 5 (Pallant, 2001; Field, 2005 e Agresti, 2007) e neste trabalho este princípio nunca foi possível de cumprir. Portanto, os resultados obtidos devem ser interpretados com reservas relativamente à sua extrapolação para a população constituída pelos condutores de VDRM e não conhecendo o peso estatístico das relações verificadas, os resultados são apenas informativos de possíveis relações de causalidade entre os factores considerados e a gravidade das lesões a explorar em estudos futuros.

Os parâmetros a analisar tendo em vista a exploração de factores potencialmente importantes na gravidade dos acidentes com VDRM foram estabelecidos por analogia com trabalhos anteriores e considerando as limitações inerentes das bases de dados disponíveis. A partir da investigação aprofundada dos acidentes procurou-se aumentar o detalhe da informação respeitante ao VDRM, correlacionando a gravidade dos acidentes com o tipo de VDRM, mas também com o outro veículo envolvido no acidente, tendo sido considerada nesta secção e em toda a elaboração deste trabalho, a classificação dos veículos apresentada na Tabela 42 do Anexo V, acrescentando-se a categoria "Peão" para contemplar as situações de atropelamento. Considerou-se em cada caso estudado apenas o outro veículo que participou directamente no impacto principal que originou o acidente e não os outros veículos que intervieram apenas em impactos secundários posteriores. Relativamente ao VDRM, avaliou-se também independentemente a influência da respectiva cilindrada, relação potência/peso, ano de fabrico e estilo do mesmo. Esta distinção dos VDRM por estilo aplicou-se apenas aos motociclos e baseou-se na classificação considerada no relatório MAIDS (ACEM, 2009), que por sua vez seguiu as orientações da OCDE, apresentando-se na Tabela 43 que se encontra no Anexo V um exemplo de cada estilo de motociclo. Apesar de os ciclomotores também apresentarem as mais variadas configurações à semelhança dos motociclos, na verdade estas representam apenas uma diferença estética pois independentemente do estilo, os ciclomotores estão identicamente limitados em termos de velocidade e cilindrada, como clarificado no Anexo V (ver Tabela 42). Por outro lado, a diferença de estilo nos motociclos já corresponde a uma variação mais demarcada nas respectivas velocidades máximas, relação potência/peso e estilo de condução característicos, justificando-se assim a opção de não se diferenciar os ciclomotores por estilos.

A descrição detalhada dos procedimentos considerados na investigação e reconstituição computacional dos acidentes reais com VDRM e uma análise extensa dos resultados obtidos consta do respectivo relatório (Bernardo e Dias, 2012a), tal como a anterior análise estatística.

4.2 Acidentes reais com VDRM reconstituídos computacionalmente

Apresentam-se, a título de exemplo, as reconstituições de dois acidentes com VDRM, ocorridos em Portugal em 2006 e 2008 e que permitiram determinar os principais factores que influenciaram a sua ocorrência, atestar a veracidade dos depoimentos dos intervenientes e concluir sobre as responsabilidades dos mesmos. Por questões de confidencialidade uma vez que se tratam de acidentes reais em relação aos quais decorrem processos judiciais, salvaguardam-se as identidades, matrículas e quaisquer elementos identificadores dos veículos ou pessoas envolvidas, além de determinadas imagens de conteúdo mais sensível.

4.2.1 Atropelamento envolvendo três peões e motociclo de potência não limitada

O acidente em questão ocorreu às 20 horas e 50 minutos num arruamento no interior de uma localidade, logo, com um limite de velocidade de circulação imposto por lei de 50 km/h e consistiu no atropelamento de um peão do género feminino por um motociclo da marca Yamaha, modelo YZF-R6, no interior da via onde este circulava, seguido de um segundo atropelamento de dois peões também do género feminino que se encontravam no passeio, num local situado a cerca de 91,30 m da zona do primeiro atropelamento. Deste acidente resultou um ferido grave (peão) na primeira situação de atropelamento e um ferido grave e uma vítima mortal, correspondentes aos dois últimos peões atingidos pelo motociclo. O condutor do motociclo sofreu apenas ferimentos ligeiros. Para além do motociclo estão envolvidos no acidente, de forma indirecta, quatro veículos ligeiros de passageiros que se encontravam estacionados no local onde ocorreram o segundo e terceiro atropelamentos e contra os quais colidiram o motociclo e os peões. A Figura VI.1 do Anexo VI corresponde a uma imagem de vista aérea do local do acidente, com indicação dos pontos de colisão entre o motociclo e os peões, obtida com recurso ao software Google Earth.

4.2.1.1 Características gerais dos veículos

Apresenta-se na Figura 4.2 um exemplo do motociclo com cilindrada superior a 50 cm^3 e potência não limitada a 25 kW envolvido no acidente.

Figura 4.2 – Exemplo do modelo do motociclo.

As características principais deste veículo estão descritas na Tabela 44 do Anexo VI.

4.2.1.2 Deformações/danos dos veículos

As deformações/danos principais (que ocorrem no impacto inicial) devidas ao maior nível de energia de deformação ocorreram na estrutura do motociclo, mais concretamente, no quadro, que levaram à separação do motociclo em duas partes e também em ambas as jantes, com maior incidência sobre o lado direito (atendendo à posição de condução), comparativamente com as restantes deformações/danos no motociclo. Na Figura VI.2 do Anexo VI observa-se a completa destruição do veículo, sugerindo que esteve sujeito a um impacto de elevada intensidade. Relativamente às deformações dos ligeiros de passageiros estacionados constatou-se que o veículo situado mais próximo do local do acidente era o que apresentava mais danos, tal como se pode observar na Figura VI.3 do Anexo VI. A maior concentração de deformações/danos neste veículo

localiza-se na zona posterior lateral direita, numa faixa que se estende desde o tejadilho até ao pára-choques traseiro e guarda-lamas da roda traseira. É visível a ausência do vidro traseiro relativamente ao qual foi dada a indicação da existência de vestígios presumivelmente biológicos (humanos) nos vidros que permaneceram no veículo, na zona superior de fixação do vidro traseiro à porta da mala.

4.2.1.3 Factor humano

Apresentam-se condensadas na Tabela 13 as características físicas dos indivíduos envolvidos no acidente e outros parâmetros importantes para a investigação do acidente. O peão 1 diz respeito à primeira situação de atropelamento, correspondendo os peões 2 e 3 aos dois últimos peões atingidos pelo motociclo (vítima mortal e ferido grave, respectivamente).

Tabela 13 – Características dos indivíduos envolvidos no acidente.

	Condutor	**Peão 1**	**Peão 2**	**Peão 3**
Idade	23	56	41	41
Género	Masculino	Feminino	Feminino	Feminino
Tempo de habilitação de condução	4 anos	-	**-**	-
Habilitado a conduzir o veículo	Sim	-	**-**	-
TAS (g/l) / Substâncias psicotrópicas	0	0	Desconhecido	0

O condutor do motociclo usava capacete e a Figura VI.4 no Anexo VI permite observar danos de maior dimensão e extensão na sua zona posterior, apresentando-se esfolado em vários pontos e com o "spoiler" partido, danos que são compatíveis com vários impactos e contacto durante algum tempo entre o capacete e o pavimento.

4.2.1.4 Factor ambiental

O acidente ocorreu durante a noite, com bom tempo, sendo indicado pelas autoridades policiais que a iluminação artificial existente no local era deficiente.

4.2.1.5 Análise das lesões sofridas pelo condutor do motociclo e peões

O peão 1 (ferido grave) sofreu lesões na zona occipital (cabeça) e fractura do antebraço direito.

O peão 2 (vítima mortal) sofreu lesões traumáticas crânio-encefálicas, torácicas, abdominais e esqueléticas. As lesões distribuídas ao longo de todo o corpo, como escoriações e equimoses, são consistentes com múltiplos impactos no solo, objectos rígidos na via, bem como com o seu arrastamento e coincidentes com a dinâmica de projecção do peão após a colisão com o motociclo. Observaram-se também uma ferida contusa extensa à direita de todo o hemitórax, com exposição de costelas, ferida contusa na coxa direita e ferida contusa na nádega direita e ainda a deformação do terço inferior do braço direito e do terço inferior da perna direita. Verificaram-se diversas fracturas, identificadas na Figura VI.5 do Anexo VI recorrendo a um modelo tridimensional do corpo humano utilizando a aplicação Google Body, além da fractura completa da base do crânio e ainda várias lesões em órgãos internos (ex: laceração pulmonar e esfacelo do fígado). Os vestígios biológicos nos

vidros da zona posterior do ligeiro estacionado são compatíveis com o impacto de um dos peões, sendo a sua localização compatível com a ferida extensa existente à direita do hemitórax do peão 2.

O peão 3 sofreu um traumatismo crânio-encefálico, traumatismo no fígado e fractura na zona do olho esquerdo com lesão no nervo óptico, indicando que o peão 3 não sofreu um impacto directo, por comparação com as lesões do peão 2, que terá recebido a maior parte da energia do impacto.

O condutor do motociclo sofreu ferimentos ligeiros resultantes do acidente.

4.2.1.6 Dinâmica do acidente

O acidente pode ser dividido em duas fases separadas mas conexas. Na primeira fase, o motociclo colide com o peão 1 quando este último se situava próximo do centro da via da direita da Estrada do Farol, considerando o sentido de circulação do motociclo. A segunda fase ocorre a cerca de 91,30 m do local do primeiro atropelamento, envolvendo o motociclo e os peões 2 e 3 que se encontravam no passeio, junto a uma passagem para peões, sendo ambos projectados na direcção dos veículos ligeiros estacionados. A energia do impacto foi elevada, traduzindo-se nas deformações extensas do primeiro ligeiro estacionado, nas lesões graves dos peões e a fractura transversal do quadro do motociclo que se imobilizou a cerca de 8 m do primeiro automóvel atingido.

4.2.1.7 Simulação Computacional

Nas simulações computacionais realizadas considerou-se, para o motociclo, um coeficiente de restituição de 0,2 (colisão inelástica) e um coeficiente de atrito entre o metal e o asfalto de 0,6 (adequado para o caso de um motociclo escorregando deitado sobre o pavimento). No que se refere ao coeficiente de atrito pneu-asfalto, assumiu-se um coeficiente de atrito de 0,8 adequado para piso regular e seco. No caso dos modelos biomecânicos correspondentes ao condutor do motociclo e peões considerou-se um coeficiente de atrito entre o corpo humano e o solo de 1,1 (corpo humano a rolar) e um coeficiente de restituição de 0,1. No que diz respeito às características físicas do condutor e peões à data do acidente (ver Tabela 14), apenas a idade de todos os intervenientes e a massa corporal do peão 2 eram conhecidas, pelo que foi necessário assumir os restantes parâmetros.

Tabela 14 – Características físicas utilizadas nas simulações computacionais.

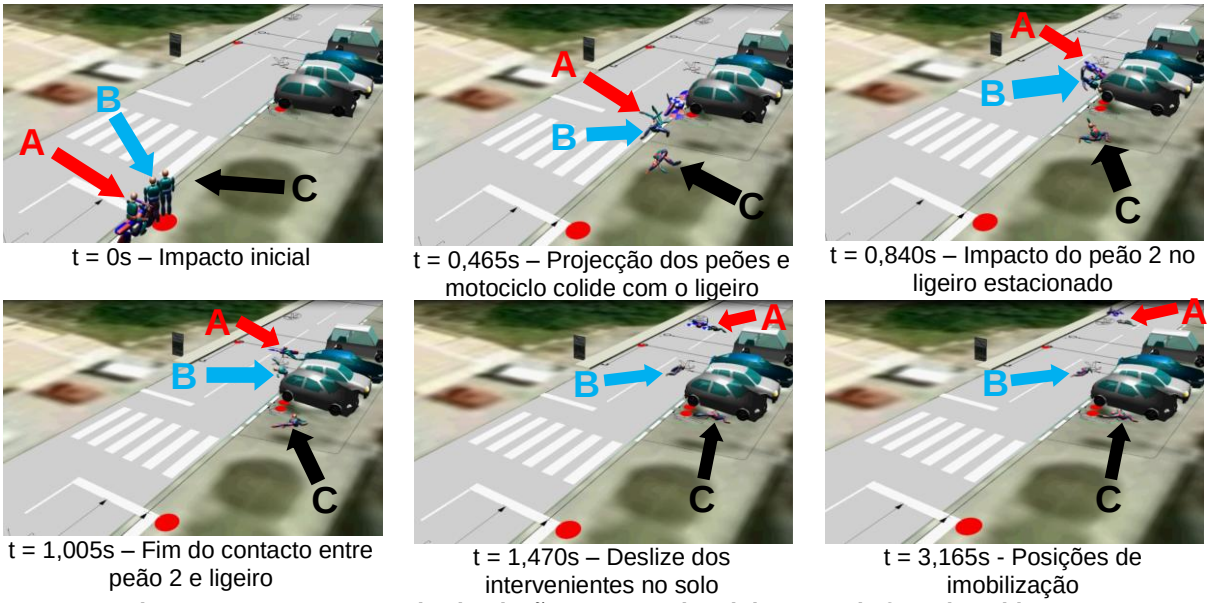
	Condutor	Peão 1	Peão 2	Peão 3
Idade (anos)	23	56	41	41
Massa (kg)	70	55	55	55

Na Figura VI.6 e Figura VI.7, ambas no Anexo VI apresentam-se, respectivamente, os modelos do motociclo e respectivo condutor e um exemplo do modelo biomecânico dos peões e os modelos dos veículos estacionados no local utilizados na reconstituição computacional.

Devido a constrangimentos resultantes da distância que separa os dois locais de atropelamento não foi possível realizar uma simulação contínua do acidente. Porém, relativamente a este ponto, dada a inexistência de indicação de vestígios ou das posições de imobilização no local do primeiro atropelamento não foi possível realizar a reconstituição computacional desta fase do

acidente. A ausência de condições iniciais para a realização das simulações computacionais não permite a reconstituição rigorosa do acidente em causa. Portanto o principal objectivo da análise deste acidente consistiu em determinar a velocidade de circulação do motociclo na segunda fase do acidente e com base na informação disponível foram testados vários cenários e respectivos parâmetros de forma a apurar a dinâmica do acidente.

Apresentam-se na Figura 4.3 os fotogramas alusivos ao cenário simulado correspondente à segunda fase do acidente, sendo identificados os intervenientes. O condutor do motociclo é identificado com a letra A, correspondendo aos peões 2 e 3 as letras B e C, respectivamente.



t = 0s – Impacto inicial | t = 0,465s – Projecção dos peões e motociclo colide com o ligeiro | t = 0,840s – Impacto do peão 2 no ligeiro estacionado

t = 1,005s – Fim do contacto entre peão 2 e ligeiro | t = 1,470s – Deslize dos intervenientes no solo | t = 3,165s - Posições de imobilização

Figura 4.3 – Fotogramas da simulação computacional da segunda fase do acidente.

As posições finais do motociclo e do corpo da vítima mortal são as únicas identificadas pelas autoridades policiais e medidas em relação a pontos de referência, tendo sido as posições finais do condutor e do peão 3 estimadas a partir de testemunhos e vestígios existentes no local. Desta feita, as conclusões obtidas a partir da simulação computacional, nomeadamente, no que diz respeito à velocidade de circulação do motociclo, são resultantes da posição final do corpo do peão 2.

4.2.1.8 Discussão e conclusões

A análise do acidente, conjugada com a reconstituição computacional do mesmo permite concluir que a ocorrência do acidente poderá estar relacionada com dois factores: factor humano, condicionado tanto pelo condutor do motociclo como pelo peão 1 e um factor ambiental, relacionado com as condições de visibilidade na via. Relativamente à segunda fase do acidente, determinou-se a partir da simulação computacional que o motociclo circularia a 113±5 km/h no instante do impacto com os peões 2 e 3, verificando-se ainda que a posição de imobilização do peão 2 na simulação computacional é aproximada à posição indicada no croqui elaborado pelas autoridades policiais, além da compatibilidade entre o impacto da vítima mortal no automóvel e as lesões que se verificaram nesta. Relativamente ao primeiro atropelamento não foi possível avaliar se este se deveu a excesso de velocidade do motociclo ou à acção do peão, aliados à deficiente iluminação no local e se nessa

fase ocorreu a queda do condutor do motociclo. No entanto, no espaço que separa os dois pontos de colisão, o condutor tinha a possibilidade de parar o motociclo ou reduzir a sua velocidade, de forma a retomar o controlo do mesmo ou imobilizá-lo, constatando-se porém que o condutor percorreu a distância que separa os dois locais a elevada velocidade, atingindo mais dois peões a uma velocidade superior ao limite máximo de circulação permitido (50 km/h). Além disso, os peões são atingidos enquanto estavam no passeio do cruzamento, junto a uma passagem para peões, tratando-se portanto de uma zona onde o condutor deveria adequar a velocidade às características da via, para que pudesse, em condições de segurança, antecipar manobras e fazer parar o veículo no espaço livre e visível à sua frente. A velocidade à qual circulava o motociclo teve uma contribuição fulcral para o agravamento das lesões que resultaram deste acidente.

4.2.2 Colisão entre veículo ligeiro de passageiros e motociclo de potência limitada

O acidente ocorreu às 18 horas e 15 minutos numa Estrada Nacional situada numa localidade, logo, com um limite de velocidade de circulação imposto por lei de 50 km/h e consistiu na colisão entre o veículo ligeiro de passageiros Volvo V70 e o motociclo Vespa 50, que circulava à frente do primeiro, na mesma via e no mesmo sentido, num entroncamento. Deste acidente resultou um ferido leve (condutor do motociclo) e uma vítima mortal (passageiro do motociclo). A Figura VI.8 e Figura VI.9 do Anexo VI correspondem, respectivamente a uma imagem de vista aérea do local do acidente, com indicação da zona onde ocorreu a colisão, obtida com recurso ao software Google Earth e a uma fotografia do entroncamento, tirada momentos após a ocorrência do acidente.

4.2.2.1 Características gerais dos veículos

Apresenta-se na Figura 4.4 um exemplo do motociclo (veículo nº 1), com cilindrada superior a 50 cm^3 e potência limitada a 25 kW e do ligeiro (veículo nº2) envolvidos no acidente.

a)

b)

Figura 4.4 – Exemplo do modelo do veículo nº1 e veículo nº2.

As principais características de cada veículo encontram-se descritas na Tabela 45 do Anexo VI.

4.2.2.2 Deformações/danos dos veículos

A partir da Figura VI.10 do Anexo VI é possível avaliar o estado do motociclo após a sua imobilização, verificando-se que as deformações/danos principais ocorreram na zona traseira lateral esquerda, ao nível da carenagem e carroçaria do motociclo inicialmente coberta pela carenagem.

A avaliação e levantamento fotográfico dos danos visíveis no ligeiro de passageiros foram realizados algumas horas após a ocorrência do acidente pois, de acordo com as autoridades, o condutor deste veículo colocou-se em fuga após a colisão. Os principais danos presentes neste veículo podem ser verificados na Figura VI.11 do Anexo VI, localizando-se os mesmos na zona frontal lateral direita, ao nível do pára-choques, da óptica do sinal luminoso de mudança de direcção à direita e do capô. As restantes deformações/danos existentes distribuem-se principalmente ao longo do capô e no vidro pára-brisas frontal e são típicas do impacto com o corpo humano, sendo então consistentes com um eventual impacto entre um ou de ambos os ocupantes do motociclo e o capô e vidro pára-brisas do automóvel, correspondendo então a deformações/danos secundários.

4.2.2.3 Factor humano

Na Tabela 15 apresentam-se as características dos intervenientes no acidente.

Tabela 15 – Características dos indivíduos envolvidos no acidente.

	Condutor ligeiro	**Condutor motociclo**	**Passageiro motociclo**
Idade	24	59	70
Género	Masculino	Masculino	Masculino
Tempo de habilitação de condução	4 anos	7 anos	-
Habilitado a conduzir o veículo	Sim	Sim	-
TAS (g/l)	1,44	0,43	1,15
Influência de substâncias psicotrópicas	Desconhecido	Não	Desconhecido

Os ocupantes do motociclo utilizariam capacete, no entanto são desconhecidas as suas características e não foram fornecidas fotografias que possibilitassem a análise dos eventuais danos.

4.2.2.4 Factor ambiental

O acidente ocorreu ao final do dia no período do anoitecer, com bom tempo. Um eventual encadeamento devido à posição do Sol mais próxima da linha do horizonte foi afastado por comparação da direcção dos veículos com o azimute do Sol no instante do acidente utilizando uma aplicação do programa PC-Crash para este efeito, estando o Sol por trás dos condutores.

4.2.2.5 Análise das lesões sofridas pelo condutor e passageiro do motociclo

O condutor do motociclo sofreu ferimentos ligeiros, sendo a lesão mais relevante a fractura acetabular esquerda (zona da bacia), possivelmente provocada pelo impacto inicial e coincidente com a dinâmica de projecção do condutor contra o capô e vidro pára-brisas do ligeiro. Apresentava ainda algumas lesões no lado esquerdo do corpo, consistentes com o impacto do ligeiro na zona lateral esquerda do motociclo e posteriores impactos no solo, destacando-se uma ferida incisa na região supra-ciliar à esquerda (vulgo sobrolho) que indica a possibilidade deste condutor utilizar um capacete aberto. As lesões referidas são indicadas na Figura VI.12 do Anexo VI recorrendo novamente a um modelo tridimensional do corpo humano utilizando a aplicação Google Body.

O passageiro do motociclo apresentava múltiplas lesões de âmbito externo directamente relacionadas com o impacto no ligeiro de passageiros, no pavimento e coincidentes com a dinâmica de projecção na colisão, como sejam feridas inciso contusas, escoriações e equimoses na cabeça e dispersas pelo tórax, abdómen, membros superiores e inferiores. A presença de lesões na cabeça sugere que utilizaria um capacete aberto, não protegendo completamente a região frontal da cabeça e o rosto. Nesta zona do corpo verificou-se ainda uma infiltração sanguínea com hematomas nas regiões parietal direita e frontal e hemorragia subaracnoidea, sobre o lobo occipital do lado direito e uma fractura craniana desde a escama do osso temporal do lado direito e até ao corpo do osso esfenóide. As regiões do cérebro e crânio encontram-se ilustradas na Figura VI.13 do Anexo VI. A vítima mortal sofreu também a fractura dos arcos costais em ambos os hemitoraxes, a fractura completa da 9ª vértebra dorsal (T9) e várias lesões em órgãos internos (ex: laceração do lobo inferior do pulmão esquerdo, ruptura do baço e laceração do pâncreas).

Quanto ao condutor do ligeiro de passageiros, não foram referidas quaisquer lesões.

4.2.2.6 Dinâmica do acidente

Através da compatibilidade de danos nos veículos, lesões nos ocupantes do motociclo e declarações prestadas foi possível avançar uma hipótese preliminar para a forma como ocorreu o acidente. O motociclo circulava junto ao limite direito via, à frente do ligeiro de passageiros, quando este colidiu com a parte frontal direita na zona posterior lateral esquerda do motociclo e os ocupantes do motociclo foram projectados contra o vidro pára-brisas do ligeiro e de seguida para o solo. As posições finais dos ocupantes do motociclo estão indicadas na Figura VI.14 do Anexo VI (círculos a vermelho) e correspondem às zonas do pavimento com manchas de sangue. De acordo com a marca de arrastamento deixada no pavimento, o motociclo deslizou por cerca de 28 m até se imobilizar.

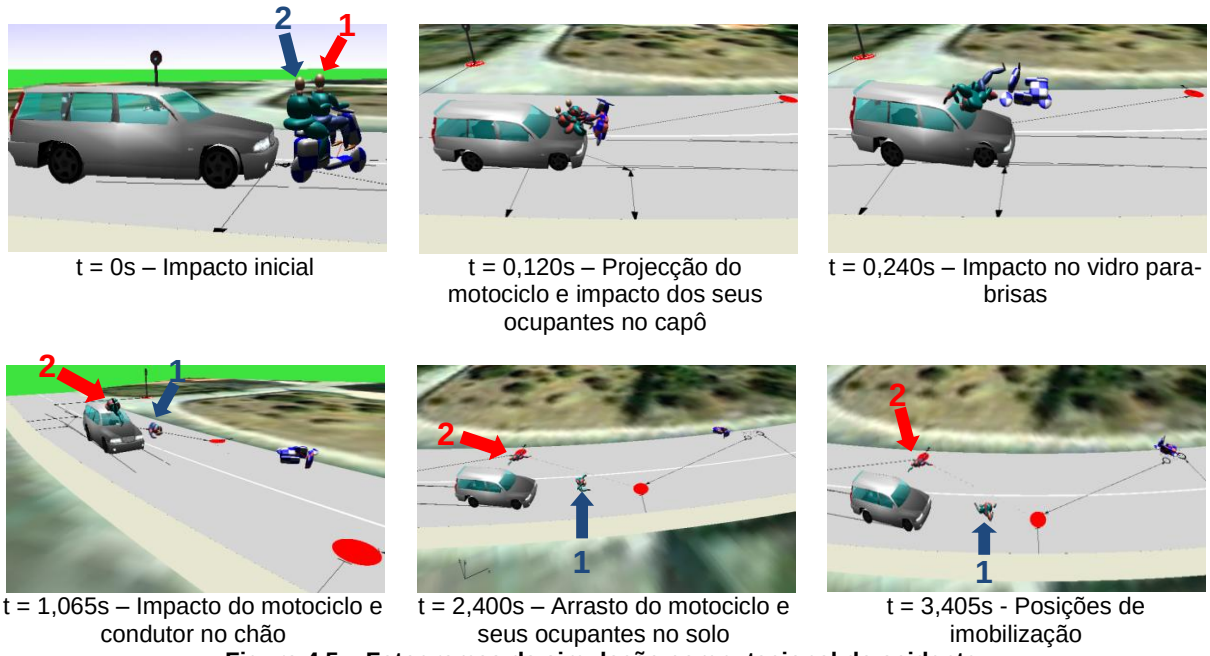
4.2.2.7 Simulação Computacional

Nas simulações computacionais realizadas consideraram-se coeficientes de restituição de 0,1 e 0,15 (colisão inelástica) para o ligeiro de passageiros e motociclo, respectivamente. Para o motociclo considerou-se um coeficiente de atrito entre o metal e o asfalto de 0,6. Assumiu-se um coeficiente de atrito pneu-asfalto de 0,7. No caso dos modelos biomecânicos considerou-se um coeficiente de restituição de 0,1 e um coeficiente de atrito entre o corpo humano e o solo de 0.55, valor adequado para colisão a baixa velocidade (cerca de 50 km/h) e corrigido para considerar o impacto vertical do corpo humano no solo (Han e Brach, 2001). Foram fornecidas as características físicas completas do passageiro do motociclo à data do acidente, mas apenas a idade dos condutores dos veículos pelo que foi necessário assumir os restantes parâmetros (ver Tabela 16).

Tabela 16 – Características físicas utilizadas nas simulações computacionais.

	Condutor do ligeiro	Condutor do motociclo	Passageiro do motociclo
Idade (anos)	24	59	70
Altura (m)	1,70	1,65	1,57
Massa (kg)	70	75	85

Na Figura VI.15 do Anexo VI apresentam-se os modelos utilizados na simulação computacional. Na Figura 4.5 encontram-se os fotogramas alusivos ao cenário simulado com melhor correlação entre as posições de imobilização e compatibilidade de deformações e lesões. O condutor do motociclo é identificado com o número 1, correspondendo ao passageiro o número 2.



t = 0s – Impacto inicial

t = 0,120s – Projecção do motociclo e impacto dos seus ocupantes no capô

t = 0,240s – Impacto no vidro para-brisas

t = 1,065s – Impacto do motociclo e condutor no chão

t = 2,400s – Arrasto do motociclo e seus ocupantes no solo

t = 3,405s - Posições de imobilização

Figura 4.5 – Fotogramas da simulação computacional do acidente.

4.2.2.8 Discussão e conclusões

A análise do acidente, conjugada com a reconstituição computacional do mesmo permite concluir que a sua ocorrência poderá estar relacionada com o factor humano, condicionado tanto pelo condutor do ligeiro de passageiros como do motociclo e respectivo passageiro. As posições de imobilização do modelo do motociclo e do seu condutor são bastante aproximadas às respectivas posições finais indicadas pelas autoridades e a colisão entre os ocupantes do motociclo e o ligeiro é consistente com as lesões verificadas. Obteve-se também compatibilidade entre a simulação computacional e as deformações/danos observados nos veículos. A partir da simulação computacional determinou-se que no instante do impacto inicial, o motociclo circularia a 10±2 km/h, com um ângulo de 36.5^{o}, no sentido anti-horário, em relação ao eixo da via, enquanto que o ligeiro de passageiros circularia a 56±5 km/h apresentando um ângulo de 2.0^{o}, também no sentido anti-horário, em relação ao eixo da via. O sentido e direcção do motociclo no instante do impacto, com um ângulo de circulação exagerado para uma zona recta da via, indiciam que se encontraria a realizar uma mudança de direcção à esquerda ou inversão de marcha. A presença de uma marca de travagem no pavimento com 0,20 m correspondente a um pneumático do ligeiro de passageiros indica que o seu

condutor terá tentado evitar a colisão, mas dada a velocidade a que circulava e a influência do álcool, é possível que não tenha guardado uma distância segura ao veículo que circulava à sua frente.

Conclui-se que a ocorrência do acidente se deveu à circulação sob o efeito do álcool, acima do limite máximo de velocidade permitido para o local, por parte do condutor do ligeiro de passageiros e à acção do condutor do motociclo, na realização de uma manobra de mudança de direcção à esquerda ou de inversão de marcha no limite do entroncamento.

4.3 Resultados da investigação de acidentes reais com VDRM

Da análise realizada à amostra de acidentes com VDRM investigados apresentam-se os principais resultados obtidos que evidenciaram uma determinada relação com a gravidade dos acidentes com estes veículos. Entre estes, verificou-se que 88,0% das vítimas mortais e 57,1% dos feridos graves conduzia um motociclo, pelo que entre os VDRM é aos motociclos que está associada a maior gravidade das lesões do condutor, tal como se pode observar na Tabela 17. Do número total de condutores de VDRM, 56,6% sofreram lesões graves ou morreram ao conduzir um motociclo.

Tabela 17 – Gravidade das lesões do condutor do VDRM por tipo de VDRM.

	Morto		Ferido Grave		Ferido Leve		Sem lesões	
Tipo de VDRM	N	%	N	%	N	%	N	%
Ciclomotor	3	12,0	6	42,9	2	16,7	0	0
Motociclo	22	88,0	8	57,1	10	83,3	2	100
Total	25	100	14	100	12	100	2	100

Os veículos ligeiros apresentam-se como o principal veículo envolvido em acidentes em que resultam lesões para o condutor do VDRM, perfazendo ainda 76,0% das vítimas mortais e repetindo-se este efeito no número de feridos graves (78,5%), tal como atesta a Tabela 18. Aos ligeiros de passageiros está associada a maior percentagem total de vítimas.

Tabela 18 – Gravidade das lesões do condutor do VDRM por tipo de OV envolvido no acidente.

	Morto		Ferido Grave		Ferido Leve		Sem lesões	
OV	N	%	N	%	N	%	N	%
Ligeiro de passageiros	16	64,0	8	57,1	6	50,0	0	0
Ligeiro de mercadorias	3	12,0	3	21,5	1	8,3	0	0
Pesado de passageiros	1	4,0	0	0	0	0	0	0
Pesado de mercadorias	0	0	1	7,1	0	0	0	0
Motociclo	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciclomotor	0	0	0	0	0	0	0	0
Peão	0	0	0	0	2	16,7	2	100
VDRM Isolado	5	20,0	2	14,3	3	25,0	0	0
Total	25	100	14	100	12	100	2	100

Nos acidentes sem outro veículo (OV) envolvido para além do VDRM também se registaram valores relativamente elevados de vítimas entre os condutores de VDRM.

Analisando a relação entre a cilindrada do VDRM e as lesões do condutor observa-se na Tabela 19 que em termos de mortalidade, os motociclos com cilindrada entre 501 e 750 cm^3 se encontram sobre representados, logo seguidos pelos veículos de cilindrada entre 751 e 1000 cm^3, correspondendo estes dois segmentos em conjunto a 72% das vítimas mortais.

Tabela 19 – Gravidade das lesões do condutor do VDRM por cilindrada do VDRM.

	Morto		Ferido Grave		Ferido Leve		Sem lesões	
Cilindrada do VDRM	N	%	N	%	N	%	N	%
≤ 50 cm^3	3	12,0	5	35,8	2	16,7	0	0
51 – 125 cm^3	2	8,0	1	7,1	3	25,0	0	0
126 – 250 cm^3	0	0	2	14,3	1	8,3	0	0
251 – 500 cm^3	1	4,0	1	7,1	0	0	0	0
501 – 750 cm^3	12	48,0	0	0	3	25,0	2	100
751 – 1000 cm^3	6	24,0	3	21,5	1	8,3	0	0
≥1001 cm^3	1	4,0	1	7,1	1	8,3	0	0
Não Definida	0	0	1	7,1	1	8,3	0	0
Total	25	100	14	100	12	100	2	100

Os resultados obtidos parecem indicar uma tendência para uma maior ocorrência de vítimas mortais nos acidentes com motociclos de elevada cilindrada, mas no cômputo geral da gravidade das lesões, esta relação não é clara. Em termos da relação potência/peso e anos do VDRM observou-se uma distribuição semelhante da gravidade das lesões entre as categorias definidas da amostra.

No que diz respeito à influência do estilo do VDRM, verifica-se na amostra em estudo que os motociclos desportivos ocupam o lugar de destaque em termos de mortalidade dos condutores, sendo logo seguidos pelos utilitários e suplantados em termos de feridos graves pelos ciclomotores, como está patente na Tabela 20.

Tabela 20 – Gravidade das lesões do condutor do VDRM por estilo do VDRM.

	Morto		Ferido Grave		Ferido Leve		Sem lesões	
Estilo do VDRM	N	%	N	%	N	%	N	%
Scooter	0	0	0	0	2	16,7	0	0
Off-Road	2	8,0	1	7,1	0	0	0	0
Custom	1	4,0	2	14,3	1	8,3	0	0
Turístico	2	8,0	0	0	1	8,3	0	0
Utilitário	7	28,0	1	7,1	1	8,3	1	50,0
Desportivo	10	40,0	4	28,6	5	41,7	1	50,0
Ciclomotor	3	12,0	6	42,9	2	16,7	0	0
Total	25	100	14	100	12	100	2	100

Seguindo o exemplo do relatório MAIDS (ACEM, 2009), em que foi examinada a localização do impacto principal entre o VDRM e o OV, através da investigação aprofundada dos acidentes reais foi possível realizar uma identificação idêntica. Na Figura 4.6 e Figura 4.7 apresenta-se, respectivamente, a distribuição do ponto principal de impacto no VDRM e OV observada no conjunto

de acidentes investigados. Entre os VDRM verificou-se que em mais de metade dos casos o primeiro impacto ocorreu na zona frontal do veículo tendo também resultado 60% das vítimas mortais.

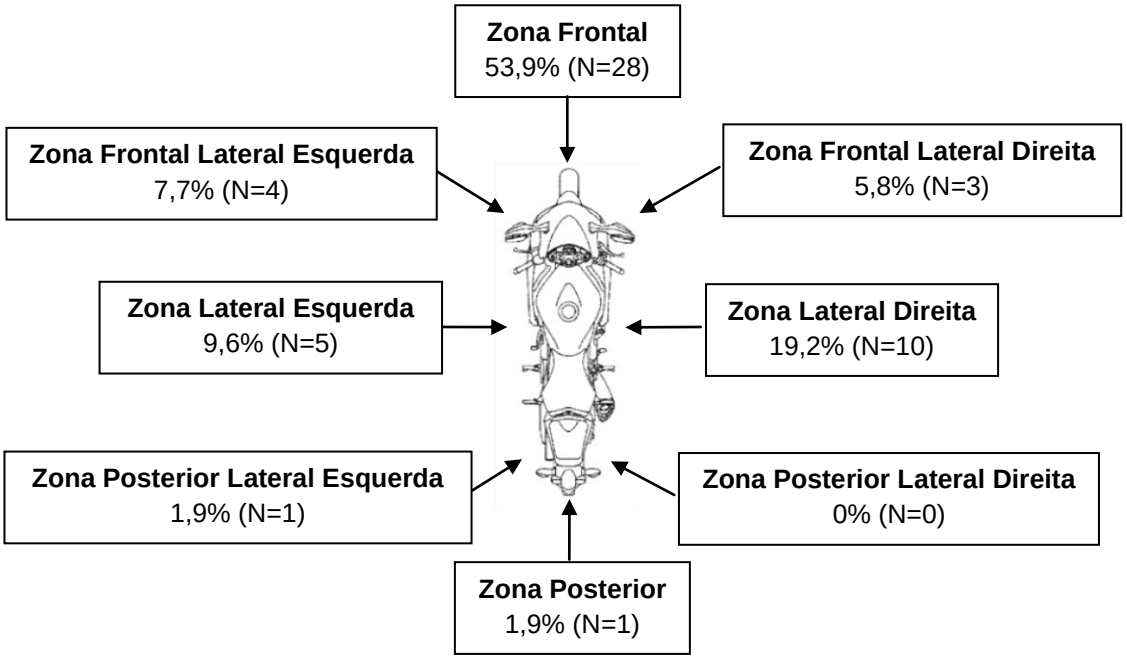


Figura 4.6 – Zona do impacto principal no VDRM.

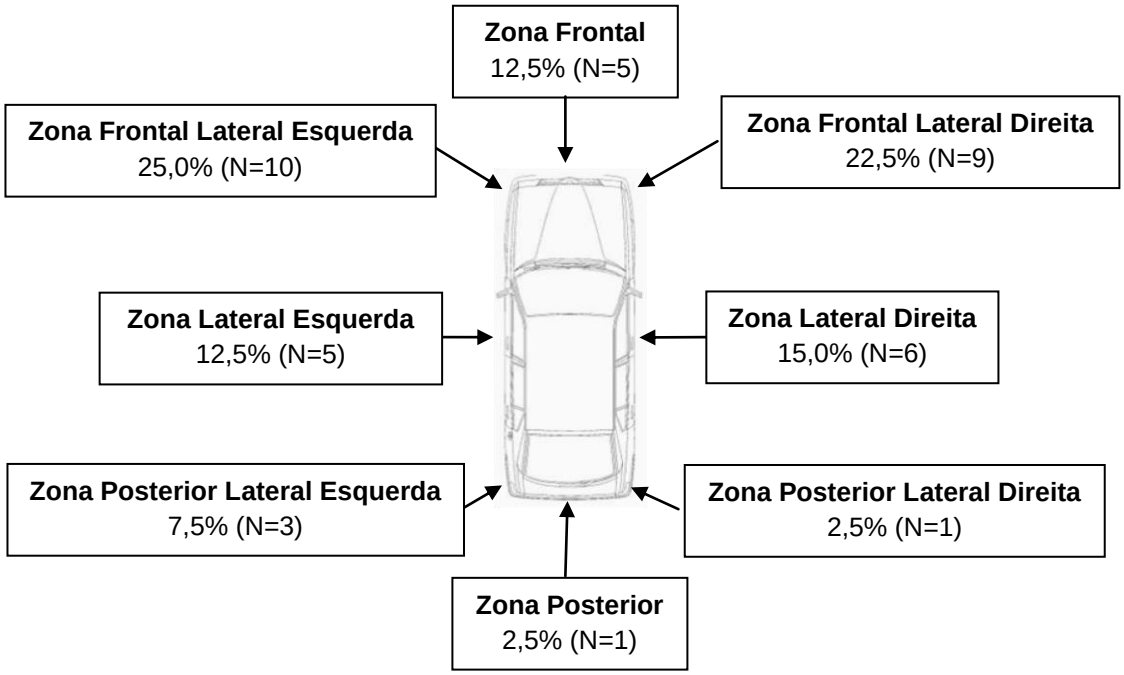


Figura 4.7– Zona do impacto principal no OV.

Analisando a distribuição do ponto de impacto principal no OV, os resultados mostram uma prevalência da ocorrência de colisões na zona frontal do veículo, com destaque para a zona frontal lateral esquerda, o que se reproduz na mortalidade. Procedeu-se ainda a uma análise dos parâmetros relacionados com o condutor do VDRM e verificou-se que qualquer comparação relativamente à influência do género do condutor na gravidade dos acidentes não pôde ser realizada

pois a amostra é constituída na sua totalidade por condutores do género masculino. Dos restantes factores relacionados com o condutor do VDRM já analisados anteriormente neste relatório, as principais observações foram as seguintes:

- Os condutores na faixa etária dos 20 a 29 anos são os que se destacam em termos de lesões, correspondendo a 68,0% das vítimas mortais e 35,7% dos feridos graves.
- 32% das vítimas mortais possuíam habilitação de condução do VDRM há um ano ou menos, sendo a distribuição da mortalidade praticamente homogénea nos restantes intervalos de tempo.
- A grande maioria dos condutores da amostra (86,8%) possuía habilitação de condução adequada e regular. Dos 5 condutores sem carta/licença de condução, 4 morreram e 1 sofreu lesões graves.
- 67,9% dos condutores de VDRM envolvidos em acidente, 64,0% das vítimas mortais e 71,4% dos feridos graves usavam capacete. Os casos em que se concluiu que o capacete foi projectado correspondem a 15,1% de todos os acidentes analisados e a 28,0% das vítimas mortais.

A distribuição das lesões verificada nos acidentes analisados é apresentada na Figura 4.8 recorrendo a um modelo do corpo humano utilizando a aplicação Google Body, observando-se uma elevada incidência de lesões ao nível da cabeça, seguida pelos membros superiores e inferiores em igual proporção.

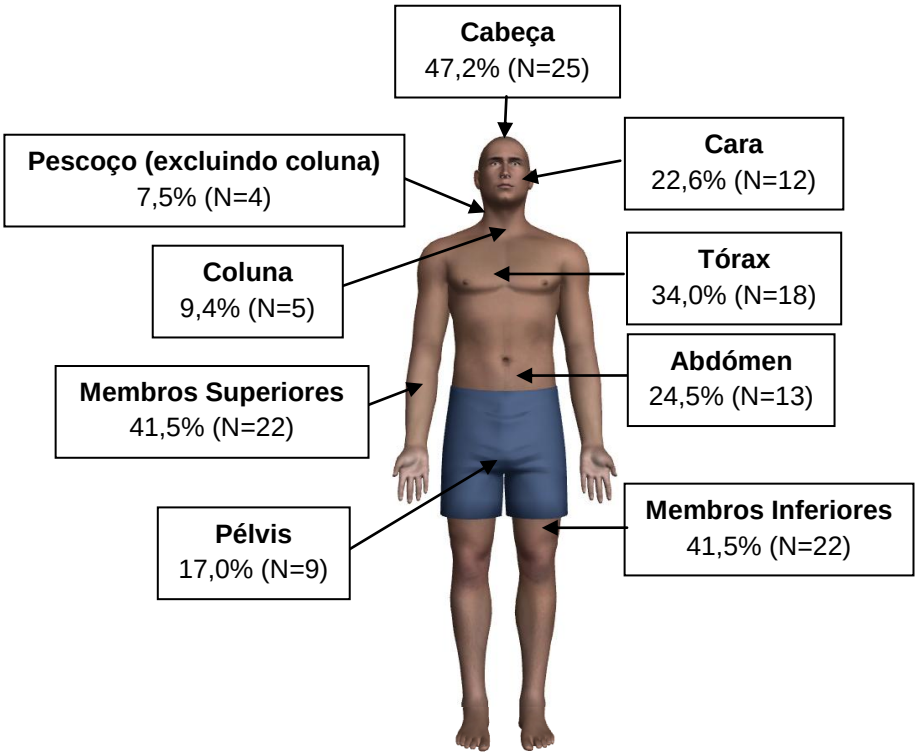


Figura 4.8 – Distribuição das lesões nos condutores de VDRM.

No presente trabalho adaptou-se a metodologia seguida no relatório MAIDS (ACEM, 2009) na análise da distribuição das lesões no corpo do condutor do VDRM, considerando as zonas da cabeça, cara, pescoço (excluindo a coluna), coluna, tórax, abdómen, membros superiores, pélvis e membros

inferiores. Nos casos em que não foi disponibilizada a descrição detalhada das lesões mas em que ocorreram lesões graves ou a morte do condutor, assumiu-se ocorrência de lesões múltiplas.

Correlacionando o uso de capacete com a ocorrência de lesões na cabeça para condutores de VDRM que sofreram lesões graves ou morreram como resultado do acidente, constata-se na Tabela 21 que mais de metade dos que sofreram lesões na cabeça usava capacete, seguidos pelos condutores cujo capacete foi projectado.

Tabela 21 – Correlação entre o uso de capacete e a ocorrência de lesões na cabeça entre condutores de VDRM com lesões graves ou mortos.

	Com lesões na cabeça		Sem lesões na cabeça	
Uso de capacete	N	%	N	%
Com capacete	14	56	12	85,8
Sem capacete	0	0	1	7,1
Capacete projectado	7	28	1	7,1
Indeterminado	4	16	0	0
Total	25	100	14	100

Correlacionando a gravidade global das lesões no condutor de VDRM com a localização específica destas infere-se a grande vulnerabilidade da zona da cabeça, mesmo quando protegida pelo capacete, pois entre os condutores que morreram ou sofreram lesões graves, 64,1% apresentava lesões nesta zona, destacando-se também neste grupo 46,2% de lesões no tórax, 33,3% no abdómen, 53,8% nos membros superiores e 48,7% nos membros inferiores.

O veículo ligeiro de passageiros foi o OV envolvido em maior número de colisões com os VDRM e também o principal interveniente na ocorrência de lesões nas zonas do corpo do condutor do VDRM destacadas anteriormente. No entanto, ao direcionar a análise para o condutor do OV (excluindo os casos em que o OV era um peão, em que o OV não tinha condutor e em que o acidente envolveu apenas o VDRM) verifica-se, tal como apresentado na Tabela 22, que praticamente nenhum sofreu qualquer lesão nos acidentes com VDRM investigados e apenas três sofreram lesões graves.

Tabela 22 – Gravidade das lesões do condutor do OV.

	Condutor do OV	
Gravidade lesões	N	%
Sem lesões	36	92,3
FL	0	0
FG	3	7,7
Morto	0	0
Total	39	100

Estes resultados assinalam a vulnerabilidade dos condutores de VDRM relativamente aos condutores de veículos ligeiros e pesados (uma vez que na amostra de acidentes analisada nenhum dos OV era um VDRM). Dos acidentes entre OV e VDRM analisados, em 51,3% o condutor do VDRM morreu e o condutor do OV não sofreu qualquer lesão e apenas em 7,7% dos casos ambos os

condutores sofreram lesões graves. Dos restantes factores relacionados com o condutor do OV analisados, as principais observações foram as seguintes:

- Os condutores do OV com idade igual ou superior a 50 anos ou na faixa etária dos 40 a 49 anos são os que se destacam, estando associados respectivamente a 28,2% e 25,6% dos acidentes.
- 74,4% dos condutores do OV eram do género masculino.
- Apenas um condutor do OV não possuía habilitação de condução do seu veículo em todos os casos analisados e 30,3% possuía carta há 21 ou mais anos e 24,2% há, respectivamente, 7 a 11 anos e 12 a 20 anos. O maior número de mortos e feridos graves entre condutores de VDRM distribui-se também pelas colisões com condutores de OV nas faixas referidas anteriormente.

A partir de cada caso investigado foi recolhida informação detalhada relacionada com as condições ambientais, da via e localização dos acidentes. Verificou-se que todos os acidentes com VDRM presentes na amostra ocorreram com bom tempo, com o piso seco e limpo e que praticamente em todas as situações (96,2%) o piso estava em bom ou razoável estado de conservação. Os resultados mais relevantes entre os obtidos foram os seguintes:

- 66,0% dos acidentes e 59,0% das vítimas mortais e feridos graves entre condutores de VDRM ocorreram dentro das localidades.
- No que diz respeito ao tipo de via, 45,3% dos acidentes ocorreram em Arruamentos e 26,4% em Estradas Nacionais, bem como o maior número de condutores de VDRM mortos ou feridos graves.
- 81,0% dos acidentes graves ocorreram em cruzamentos e entroncamentos dentro de localidades e em número igual destes (15,4%) o VDRM era um ciclomotor ou um motociclo utilitário.
- Os acidentes ocorridos fora da intersecção e fora de localidades representam 64,7% do número total de acidentes graves com VDRM e em 20,5% destes o VDRM era um motociclo desportivo.
- Nos acidentes em que o condutor do VDRM morreu ou sofreu lesões graves e em que não houve OV envolvido, 85,7% dos mesmos ocorreram fora de intersecção.

Entre as manobras realizadas pelos condutores do VDRM imediatamente antes da ocorrência do acidente constatou-se que:

- 60,4% seguia em marcha normal, resultando nestes casos 57,9% das mortes e lesões graves.
- Dos acidentes com interacção entre o VDRM e OV (excluindo 18,9% casos que envolveram apenas o VDRM e 7,7% em que o OV era um peão), em 42,9% dos casos o OV realizava uma mudança de direcção para a esquerda e em 21,1% circulava em marcha normal.
- O maior número de vítimas mortais e feridos graves entre condutores de VDRM (32,3%) ocorreu com o OV mudando de direcção à esquerda e o VDRM em marcha normal.
- As colisões laterais são o tipo de acidente mais frequente, sendo que em 28,3% dos casos ocorreu a colisão na lateral do OV e em 17,0% a colisão na lateral do VDRM. O maior número de vítimas mortais e feridos graves entre condutores de VDRM (33,3%) está associado à colisão na lateral do OV.

Neste trabalho, o conjunto de acidentes reais com VDRM investigados permitiu abordar uma análise à forma como a responsabilidade pela ocorrência do acidente depende dos condutores dos veículos, de peões, da via ou do próprio veículo. Na Tabela 23 observa-se que tirando dois casos em que não foi possível determinar inequivocamente qual o principal interveniente que provocou o acidente, a maioria dos acidentes com VDRM teve como principal responsável o condutor do VDRM.

Tabela 23 – Principal responsável pelo acidente com o VDRM.

Responsável pelo acidente	N	%
Condutor VDRM	28	52,8
Condutor OV	18	34,0
Condutor do VDRM e do OV	2	3,8
Condutor do VDRM e Peão	1	1,9
Via	1	1,9
Peão	1	1,9
Indeterminado	2	3,8
Total	53	100

Dos casos em que resultaram lesões graves ou a morte do condutor do VDRM, tem-se que:

- Em 51,3% dos acidentes o condutor do VDRM foi o responsável pela sua ocorrência e em 38,5% dos casos a responsabilidade foi atribuída ao condutor do OV.
- Nos casos em que o responsável foi o condutor do VDRM, em 55,0% destes tratou-se de um motociclo de cilindrada entre 501 e 1000 cm^3, em 45,0% era um motociclo desportivo, em 50,0% o OV era um ligeiro de passageiros e noutros 30% o acidente envolveu apenas o VDRM.
- Em 61,9% dos acidentes graves ocorridos em cruzamento e entroncamento, o condutor do VDRM foi o responsável pelo acidente, sendo que em acidentes fora de intersecção a responsabilidade é repartida entre os condutores de VDRM e do OV.
- Nas situações de colisão na lateral do OV ou do VDRM a responsabilidade é repartida entre os condutores envolvidos, mas nos despistes com colisão em dispositivo de retenção lateral, o condutor do VDRM foi o responsável em todos os casos.

Para tentar determinar o factor primário e o factor contributivo para a ocorrência do acidente, seguiram-se os procedimentos, definições e estrutura de classificação considerados no relatório MAIDS (ACEM, 2009), no projecto TRACE (Molinero *et al*., 2008) e ainda no guia para investigações aprofundadas de acidentes com VDRM presentemente em desenvolvimento pela OCDE já referido anteriormente, mas adaptados aos meios e amostra disponíveis, simplificando a estratificação dos parâmetros. Considerou-se então o factor primário como aquele cuja contribuição foi fundamental para o resultado global do acidente e o factor contributivo aquele cuja acção conjugada com o factor primário provocou o resultado global do acidente (Bernardo e Dias, 2012a). Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 24.

Tabela 24– Factores primários e contributivos na ocorrência acidente.

Factores considerados	Factor primário		Factor Contributivo	
	N	%	N	%
Excesso de velocidade do condutor do VDRM	15	28,3	11	20,8
Excesso de velocidade do condutor do OV	1	1,9	2	3,8
Falha na estratégia de condução pelo condutor do VDRM	8	15,1	3	5,7
Falha na estratégia de condução pelo condutor do OV	6	11,3	2	3,8
Falha na estratégia de condução pelos condutores do VDRM e do OV	2	3,8	0	0
Falha na cedência de prioridade pelo VDRM	2	3,8	0	0
Falha na cedência de prioridade pelo OV	1	1,9	1	1,9
Falha ao examinar o trânsito pelo condutor do VDRM	3	5,7	0	0
Falha ao examinar o trânsito pelo condutor do OV	7	13,2	0	0
Falha de atenção do VDRM	1	1,9	0	0
Falha de atenção do OV	2	3,8	0	0
Condução do VDRM sob o efeito de álcool	1	1,9	1	1,9
Condução do OV sob o efeito de álcool	0	0	1	1,9
Condução do VDRM e do OV sob o efeito de álcool	0	0	1	1,9
Condução do VDRM sob o efeito de substâncias psicotrópicas	0	0	1	1,9
Condução do OV sob o efeito de substâncias psicotrópicas	0	0	1	1,9
Visibilidade limitada para os condutores	1	1,9	5	9,4
Deficiente manutenção da via	0	0	1	1,9
Obstrução na via	0	0	1	1,9
Indeterminado	3	5,7	19	35,8
Total	53	100	53	100

Da tabela anterior é visível a prevalência da influência do factor humano entre os factores primários e contributivos para a ocorrência do acidente. A maioria dos acidentes analisados (28,3%) teve o excesso de velocidade por parte do condutor do VDRM como principal factor para a sua ocorrência, seguido de falha na estratégia de condução também por parte do condutor do VDRM (15,1%) e sendo também estes os factores primários em destaque nos acidentes mortais ou em que o condutor do VDRM sofreu lesões graves representando, respectivamente, 15,4% e 12,8% das vítimas. Uma influência determinante por parte do condutor do OV é mais notória em 13,2% dos casos por falha ao examinar o trânsito, seguida de falha na estratégia de condução (11,3%). Quando a análise é centrada nos factores contributivos verifica-se novamente a importância do excesso de velocidade do VDRM, ainda mais quando se verificou que em todos os acidentes aos quais está associado, os condutores do VDRM morreram.

Deste conjunto restrito de acidentes analisados e reconstituídos computacionalmente, pretendeu-se explorar a influência da velocidade do impacto na gravidade das lesões do condutor do VDRM, dado tratar-se de um factor que, do trabalho realizado até este ponto e da literatura, emerge como potencialmente fulcral na dinâmica do acidente e nas suas consequências. Verificou-se um número mais acentuado de VDRM com velocidades mais elevadas, superiores a 51 km/h, no instante do impacto, do que os OV e a diferença de velocidades determinadas para o VDRM e o OV nos

acidentes analisados em que o condutor do VDRM morreu ou sofreu lesões graves está patente na Tabela 25 (sendo que o número total de acidentes em que se determinou a velocidade é inferior para os OV dados os acidentes em que o OV é um peão ou em que envolveu apenas o VDRM), verificando-se que nos acidentes de maior gravidade o OV colidiu no VDRM a uma velocidade igual ou inferior a 50 km/h em 78,1% dos casos, para 33,4% dos VDRM nas mesmas circunstâncias. Entre os condutores de VDRM, 51,2% das vítimas mortais ou feridos graves circulava entre 51 e 110 km/h.

Tabela 25 – Velocidades de impacto do VDRM e OV nos acidentes de maior gravidade.

	VDRM		OV	
Velocidade	N	%	N	%
≤ 20 km/h	4	10,3	11	34,4
21 – 50 km/h	9	23,1	14	43,7
51 – 80 km/h	10	25,6	6	18,8
81 – 110 km/h	10	25,6	0	0
111 – 130 km/h	3	7,7	0	0
≥ 131 km/h	2	5,1	0	0
Indeterminada	1	2,6	1	3,1
Total	39	100	32	100

Portanto, a aparente tendência para circulação a elevadas velocidades por parte dos condutores de VDRM, consubstanciada pela relevância do excesso de velocidade nestes veículos como factor preponderante nos acidentes investigados aponta no sentido da confirmação da velocidade como um factor fundamental nos acidentes com VDRM. Algumas correlações relevantes em termos da velocidade dos veículos para os casos em que os respectivos condutores sofreram lesões graves ou morreram são as seguintes:

- Nos casos reconstituídos a velocidade de impacto dos ciclomotores, como seria de esperar, nunca ultrapassou os 50 km/h, enquanto que apenas 13,3% dos motociclos apresentava uma velocidade igual ou inferior a 50 km/h e 50% destes colidiu a mais de 81 km/h.
- Nos acidentes graves em que a velocidade de impacto foi igual ou superior a 81 km/h, 20,5% dos condutores de VDRM conduzia um motociclo desportivo e 10,3% conduzia um motociclo utilitário. Note-se ainda que o excesso de velocidade do VDRM constituiu o principal factor primário e também o contributivo na ocorrência dos acidentes analisados, tendo-se observado que em 66,7% dos acidentes em que este foi o factor primário o VDRM era um motociclo desportivo.
- Para 5 em 7 acidentes que envolveram apenas o VDRM e em que o seu condutor morreu ou sofreu lesões graves, a velocidade de impacto foi superior a 80 km/h.
- Nos acidentes que provocaram lesões graves ou a morte do condutor do VDRM e em que a responsabilidade dos mesmos se deveu a este condutor, a velocidade de impacto do VDRM foi superior a 50 km/h em 70% dos casos e a velocidade de impacto do OV foi igual ou inferior a 50 km/h em 85,7% dos casos. Quando a responsabilidade do acidente foi atribuída ao condutor do OV, a colisão ocorreu com o VDRM a mais de 50 km/h em 53,3% das situações analisadas e com o OV a uma velocidade igual ou inferior a 50 km/h em 73,3% dos casos.

4.4 Discussão dos resultados

A compreensão detalhada das circunstâncias que originam os acidentes graves envolvendo VDRM e dos mecanismos e distribuição das lesões, traduzidos por quantidades mensuráveis, revelam-se um instrumento valioso para se ter uma perspectiva fundamentada do problema e assim identificar as principais medidas a aplicar, bem como monitorizar a sua eficácia. Porém, relativamente à análise dos acidentes reais investigados, salienta-se novamente que o reduzido tamanho da amostra de acidentes com VDRM permite apenas interpretar os resultados como sugestivos, tendo-se ainda assim conseguido ampliar o espectro da análise dos factores preponderantes nos acidentes graves com VDRM em Portugal para além dos dados disponíveis a partir dos registos das autoridades policiais, como sejam a velocidade dos veículos, os factores primários e contributivos para a sua ocorrência e o responsável pelo acidente e a forma como a gravidade das lesões no condutor está relacionada com estes.

Os resultados obtidos indiciam que nos acidentes com VDRM, a gravidade das consequências para o condutor do VDRM está maioritariamente associada a factores humanos, dependentes predominantemente do próprio condutor do VDRM e em que a influência da prática de velocidades elevadas está subjacente. Alguns destes resultados são consistentes com as análises realizadas anteriormente, nomeadamente, o destaque do motociclo entre os VDRM como o veículo mais envolvido em acidentes e nos quais as lesões são de maior gravidade. Concretizando ainda mais esta associação, verificou-se que os motociclos desportivos e de maior cilindrada (751-1000 cm^3) se evidenciam nos acidentes graves e na responsabilidade da ocorrência dos mesmos, tendo sido esta associação com acidentes graves verificada anteriormente por Fuller *et al*. (2008) ou Teoh e Campbell (2010). Shankar e Varghese (2006), num relatório realizado para a NHTSA verificaram a relação entre a condução em excesso de velocidade e os motociclos de cilindrada entre 501 e 1000 cm^3 e quanto à relevância dos motociclos desportivos esta está presente no trabalho realizado por Teoh e Campbell (2010), em que se detectou a associação entre os acidentes mortais para o condutor deste tipo de motociclo e comportamentos de risco como o excesso de velocidade, tendo esta propensão para a condução a velocidades elevadas por parte dos condutores dos motociclos desportivos sido também evidenciada no trabalho de Clarke *et al*. (2007). Quanto à responsabilidade na ocorrência do acidente, Savolainen e Mannering (2007) determinaram que a probabilidade de morte do motociclista é maior quando este é a parte culpada.

Na análise estatística dos acidentes com VDRM investigados o excesso de velocidade do VDRM teve um papel fundamental no resultado global do acidente, tendo-se verificado que na grande maioria dos casos, o impacto principal ocorreu com o VDRM a mais de 50 km/h, com prevalência no intervalo de velocidades entre 81 e 110 km/h e uma associação marcada entre o excesso de velocidade e os motociclos desportivos, com algum relevo também para os motociclos utilitários. Simultaneamente, a velocidade do OV no instante do impacto principal, de forma geral, situou-se nos 50 km/h ou menos. Uma nota de destaque também para os acidentes que envolveram apenas o VDRM, em que também se verificou um número relativamente elevado de condutores com lesões graves ou que morreram e nos quais a velocidade do veículo foi sempre superior a 80 km/h.

O trabalho realizado sugere a influência directa entre a velocidade elevada do VDRM no instante do impacto e a gravidade das lesões em várias zonas do corpo do condutor deste, indicando também a sua vulnerabilidade nestas condições, em que o principal dispositivo de segurança, ou seja, o capacete, é insuficiente para o proteger. A significativa influência adversa da velocidade na gravidade dos acidentes rodoviários foi confirmada por Nilsson (2004), que no seu trabalho determinou que um aumento de 5% na velocidade média leva, aproximadamente, a um aumento de 10% de ocorrência de lesões em caso de acidente e de 20% de ocorrência de acidentes mortais, indicando simultaneamente o efeito positivo e na mesma proporção, da redução da velocidade. Dada a distribuição das lesões pelo corpo do condutor do VDRM, o uso de vestuário de protecção surge como potencialmente importante para reduzir as lesões, mas até um determinado ponto, em que nem o capacete oferece protecção total ao nível da cabeça. No entanto, ao comparar a velocidade de impacto mais reduzida dos OV com a dos VDRM nas colisões entre estes veículos e também a relativa vulnerabilidade pela exposição dos respectivos condutores, com os condutores do OV praticamente ilesos em todas as colisões, será mais directo, útil e prioritário o reforço das campanhas de controlo da velocidade e da fiscalização, dirigida à identificação dos condutores infractores e praticantes de uma condução arriscada, reconhecendo-se a tendência de envolvimento dos motociclos desportivos e de elevada cilindrada nos acidentes graves.

Deve ser também referido que as potenciais relações verificadas relativamente à influência notória da velocidade nos acidentes com VDRM ou à maior responsabilidade nos mesmos por parte destes condutores são contrárias a outros trabalhos (e.g., ACEM, 2009 e Clarke *et al*., 2007) em que não foi detectado que a velocidade seja um factor contributivo nestes acidentes ou em que foi determinado que o principal responsável pelas consequências do acidente foi o condutor do OV.

Da investigação dos acidentes reais com VDRM resulta também o destaque em termos de gravidade das lesões nas colisões laterais, principalmente, nas colisões entre a zona frontal do VDRM e a zona lateral do OV e as situações em que o OV realiza uma manobra de mudança de direcção para a esquerda e o VDRM circula em marcha normal sem realizar qualquer manobra, o que indicia que a reduzida conspicuidade dos VDRM poderá estar associada a estas colisões, tendo-se ainda que nos acidentes graves em que o condutor do VDRM foi o responsável pelo mesmo, na maior parte dos casos o VDRM era um motociclo desportivo, mas na maioria dos acidentes em que o condutor do OV foi o responsável, o VDRM era um ciclomotor, sendo também os ciclomotores e os motociclos utilitários os VDRM mais atingidos em acidentes nos cruzamentos/entroncamentos. Porém, as situações de conflito com o OV a virar à esquerda também ocorrem fora das intersecções, local em que os motociclos desportivos constituíram o VDRM em maior número nos acidentes graves e ao verificar-se que nestas situações em que o OV colide com o VDRM durante uma mudança de direcção para a esquerda, a maioria dos VDRM circulava acima dos 50 km/h e a quase totalidade dos OV seguia a 50 km/h ou menos e tendo ainda em conta que na maioria dos acidentes graves em cruzamentos/entroncamentos o condutor do VDRM foi o responsável pela ocorrência do mesmo, parece sobressair a influência de comportamentos específicos dos VDRM, inesperados para os outros utentes da via e aliados ao excesso de velocidade, que pode agravar a reduzida conspicuidade destes veículos, reduzindo a sua detectabilidade a partir da perspectiva de um

condutor de ligeiro que esteja a mudar de direcção. O excesso de velocidade resulta também numa menor capacidade de reacção para os condutores de VDRM conseguirem realizar uma manobra de evasão na iminência de uma colisão.

Do presente trabalho retém-se também a maior gravidade dos acidentes com VDRM dentro das localidades, situação invulgar a nível Europeu já detectada anteriormente, com Portugal, conjuntamente com a Grécia e Itália a constituir os únicos países em que mais colisões fatais são registadas dentro que fora das áreas urbanas (ETSC, 2008). Detectou-se ainda uma associação mais notória com o número de vítimas mortais e feridos graves entre os condutores de VDRM nos acidentes ocorridos em Arruamentos e em Estradas Nacionais, consistentes com a maior gravidade verificada dentro das localidades e por ultimo, a sobre representação dos condutores de VDRM com idade compreendida entre os 20 e 29 anos de idade e com 1 a 6 anos de carta de condução nos acidentes graves analisados.

5 Simulação computacional de colisões laterais com VDRM

Dada a importância verificada das colisões laterais nos acidentes com VDRM em termos do número de vítimas entre os seus utilizadores e gravidade dos acidentes em termos globais entre as restantes tipologias acidentes com estes veículos, salientando-se ainda a configuração de colisão entre o VDRM e a lateral do OV na amostra de acidentes reais com VDRM investigados e reconstituídos computacionalmente, pretendeu-se analisar o impacto de um motociclo (dada a amplitude de velocidades atingidas por estes veículos em particular e o destaque entre os VDRM em termos de número e gravidade dos acidentes) juntamente com o seu condutor na lateral de veículos ligeiros de passageiros para diferentes condições de impacto, como sejam a velocidade do motociclo, massa e altura do OV e ângulo de impacto, utilizando modelos computacionais dos veículos e condutor do motociclo com o objectivo principal de avaliar o potencial de lesão no condutor do VDRM, não sendo neste caso relevante a análise das deformações estruturais dos veículos.

5.1 Conceitos teóricos

5.1.1 Biomecânica do impacto

A Biomecânica é o estudo do comportamento de sistemas biológicos recorrendo aos conceitos e leis da Mecânica e pode ser aplicada no estudo do comportamento do corpo humano em cenários de impacto. Neste âmbito, a biomecânica do impacto estuda em particular o efeito da aplicação de cargas mecânicas, nomeadamente, forças de impacto, ao corpo humano e as formas de reduzir ou mesmo eliminar os danos estruturais e funcionais sobre as estruturas biológicas que podem decorrer de uma situação de impacto (Silva, 2004). A realização de análises dinâmicas da biomecânica do impacto recorrendo a simulações computacionais constitui uma alternativa versátil e menos dispendiosa de analisar o comportamento do corpo humano comparativamente com ensaios experimentais utilizando modelos antropomórficos dos ocupantes dos veículos (vulgo *dummies)* e toda a restante logística associada. A representação do corpo humano é feita por intermédio de modelos matemáticos assentes na dinâmica de corpos múltiplos abordada anteriormente.

5.1.2 Mecanismos de lesão na cabeça

Entende-se mecanismo de lesão o procedimento pelo qual resulta a lesão, ou seja, pelo qual a resposta biomecânica provoca deformações no sistema biológico que vão além do limite de recuperação, resultando em alterações na estrutura anatómica e funcional (Silva, 2004). No caso específico da cabeça, as lesões podem ser classificadas pela sua localização como fractura do crânio ou lesões no cérebro, mas em termos de importância, as lesões no cérebro destacam-se pela gravidade das suas consequências e ainda mais no caso dos condutores de VDRM dado o capacete oferecer protecção ao impacto directo na cabeça. As lesões cerebrais podem comprometer seriamente e de forma irreversível as capacidades motoras e cognitivas de um indivíduo e em colisões de elevada intensidade a inércia do cérebro no interior do crânio durante uma desaceleração

súbita gera acelerações lineares e angulares que provocam movimentos relativos entre o cérebro e o crânio (Aare, 2003), tal como exemplificado pela Figura 5.1 e podem provocar lesões neste sem a ocorrência de fractura ou impacto directo no crânio.

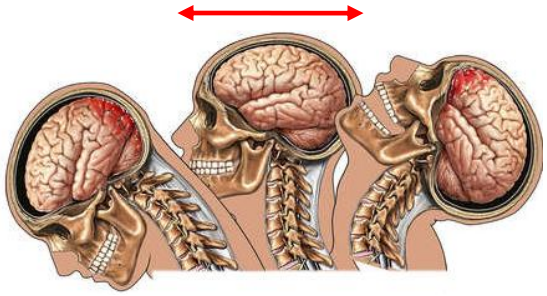


Figura 5.1 – Movimento relativo entre o cérebro e o crânio devido à inércia.

Desta forma, em termos do estudo do impacto na cabeça, as lesões no cérebro têm precedência, ainda mais quando devido à inércia do cérebro em situações de desaceleração estas lesões se fazem sentir ainda antes da carga do impacto provocar a fractura no crânio, estando a gravidade das consequências do impacto intimamente relacionada com a velocidade dos veículos quando as colisões ocorrem.

5.1.3 Critério de lesão na cabeça (HIC)

A severidade ou a gravidade da lesão consiste na quantidade de alterações fisiológicas e morfológicas decorrentes da aplicação das cargas mecânicas e os critérios de lesão são parâmetros ou conjunto de parâmetros físicos que se correlacionam com a severidade das lesões infligidas na região do corpo em análise e que indicam pela sua magnitude o potencial de indução de lesões pelo impacto. Para cada critério são definidos níveis de tolerância que correspondem aos níveis máximos admissíveis para um dado parâmetro, a partir dos quais vai existir um determinado índice de lesão (Silva, 2004). Os critérios de lesão são fundamentais no desenvolvimento e avaliação da eficácia de dispositivos de segurança rodoviária e o critério de lesão na cabeça mais utilizado é o HIC (*Head Injury Criterion*), em que o parâmetro fundamental é a aceleração linear da cabeça, não sendo contabilizadas neste critério a aceleração angular e rotação do cérebro.

O cálculo do HIC é feito a partir da equação seguinte:

$$HIC = \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t)\, dt \right]^{2.5} \right\}_{\max} \qquad (5.1)$$

Tem-se que a (t) é a resultante da aceleração em unidade de aceleração gravítica [*g*] calculada no centro de massa da cabeça e o intervalo (t_2-t_1) deve ser escolhido de forma a maximizar o termo entre chavetas, ou seja, é o intervalo de tempo em que o HIC é máximo. Considera-se para efeitos de cálculo do HIC intervalos (t_2-t_1) de 15 ms para acidentes que envolvam o contacto directo da cabeça e de 36 ms para acidentes que não envolvam contacto directo, sendo o limite máximo do HIC para

cada um destes casos de 700 e 1000, respectivamente, valores a partir dos quais são esperadas lesões graves e permanentes e isto para modelos adultos do sexo masculino e correspondendo este valor a uma aceleração linear na cabeça de aproximadamente 60 g. No caso de não existir evidência de contacto directo este considera-se se existir um pico de aceleração superior a 80 g (Eppinger *et al*., 1999; NHTSA, 2000b; Silva, 2004; TNO, 2004; Euro NCAP, 2004 e Schmitt *et al*., 2010).

5.1.4 Escala de lesões (AIS)

As escalas de lesão são classificações numéricas agrupadas em tabelas ou escalas do tipo e gravidade das lesões e a mais utilizada é a AIS (*Abbreviated Injury Scale*). Trata-se de uma escala anatómica com seis níveis que define o tipo de lesão e a sua gravidade referente às diferentes zonas do corpo (cabeça, face, pescoço, coluna, tórax, abdómen, pélvis, membros superiores e membros inferiores) e quanto maior o valor da escala, maior a gravidade das lesões, culminando na morte (Silva, 2004 e TNO, 2004). Este critério é utilizado na análise de resultados para melhor compreensão dos danos causados a um corpo humano, sendo apresentada na Tabela 46 do Anexo VII a escala relativa às lesões na cabeça.

Existe uma correlação entre os valores de HIC e os níveis de AIS que permite traduzir os índices determinados a partir de simulações computacionais no tipo e gravidade de lesões na cabeça resultantes da colisão analisada (Silva, 2004), aplicável tanto para o limite máximo de 700 como de 1000 para o HIC (Schmitt *et al.*, 2010) e que se apresenta no gráfico da Figura VII.1 no Anexo VII.

5.2 Metodologia aplicada

Para analisar a colisão entre o motociclo e a lateral do OV verificou-se de forma indirecta, a partir do trabalho de Deguchi (2005) e de Mukherjee *et al* (2001), a existência e a descrição parcial da norma ISO13232, que define procedimentos de teste e análise para avaliação de dispositivos de protecção do condutor de motociclo em caso de acidente, especificando 7 configurações de colisão básicas, descrevendo o ponto de contacto no veículo ligeiro e no motociclo, bem como o ângulo e a velocidade de impacto dos veículos, sendo recomendado aos investigadores a aplicação destas configurações em testes de impacto reais para validar os seus modelos. Entre estas configurações, 4 correspondem a impactos na lateral do OV e para proceder à análise no presente trabalho foi seleccionada a configuração de impacto 413 - 0/13,4 que consiste no impacto frontal do motociclo circulando a 13,4 m/s ($\approx$50 km/h) na zona média da lateral direita (tendo em conta a posição de condução) do ligeiro parado, encontrando-se o motociclo na direcção perpendicular ao eixo longitudinal do veículo ligeiro, tal como apresentado na figura VII.2 do Anexo VII. Com base nesta configuração pré-definida avaliaram-se outras condições de colisão através da variação do ângulo e velocidade de impacto do motociclo relativamente ao veículo ligeiro seleccionado.

Para cada ensaio de colisão foram consideradas duas situações diferentes, em termos do ângulo de impacto do motociclo na zona média da lateral do ligeiro, fazendo o motociclo um ângulo de 0^o e 45^o com o eixo perpendicular à lateral do automóvel. Para cada caso foram consideradas as velocidades de impacto do motociclo de 50 km/h e 120 km/h. A variação no ângulo de impacto

pretende alargar a abrangência das simulações no que diz respeito à reprodução de colisões reais, mantendo as restantes condições estabelecidas para os ensaios, pois em acidentes reais o impacto ocorrerá na maioria dos casos com um determinado ângulo entre os veículos inferior a 90º. As velocidades definidas correspondem aos limites gerais de velocidade instantânea mínimo e máximo definidos no Código da Estrada, pretendendo-se avaliar a influência do aumento da velocidade na colisão e nível de lesão do condutor.

As simulações computacionais de impacto foram efectuadas no programa PC-Crash, versão 9.0 e realizou-se uma primeira análise do impacto recorrendo ao modelo de motociclo sem condutor, por forma a realizar uma análise cinemática do impacto entre os veículos e estimativa da energia de deformação dos veículos, seguida da análise da biomecânica do impacto, utilizando modelos de corpos múltiplos e cuja integração na simulação computacional da colisão permitiu obter a aceleração da cabeça do condutor e desta forma determinar o critério de lesão correspondente (HIC).

Na Figura 5.2 apresentam-se os modelos computacionais dos veículos sem ocupante usados.

a) Honda CBR 900 RR Fireblade | b) Porsche 911 Carrera Turbo (veículo nº1) | c) Audi A8 (veículo ligeiro nº2) | d) BMW X5 (veículo ligeiro nº3)

Figura 5.2 – Modelos dos veículos usados na simulação computacional.

Os veículos ligeiros foram seleccionados de acordo com a sua massa e altura do veículo ao solo, pretendendo-se assim avaliar a influência destas características relativamente ao motociclo na colisão entre os mesmos e no comportamento dos veículos após a colisão, bem como no comportamento biomecânico do condutor do motociclo. Na Tabela 26 apresentam-se as principais características diferenciadoras dos veículos ligeiros relevantes para este trabalho.

Tabela 26 – Características dos veículos ligeiros em termos de massa e altura máxima.

	Características	
Veículo ligeiro	**Massa (kg)**	**Altura máxima (m)**
1	1552	1,30
2	1630	1,44
3	2090	1,71

As características dos veículos considerados nas simulações computacionais encontram-se na Tabela 47 do Anexo VII. A relevância da altura do ligeiro como critério de selecção está principalmente relacionada com a potencial influência na gravidade das lesões dos condutores de motociclo em impactos na lateral de OV que advém da actual tendência de aumento da altura dos veículos ligeiros em circulação, resultando na menor possibilidade do condutor do VDRM passar por cima do tejadilho, sendo a trajectória do condutor impedida e aumentando assim o risco de lesões graves ao nível da cabeça (NHTSA, 2000a e ETSC, 2008).

Na Figura 5.3 apresenta-se o modelo de corpos múltiplos do motociclo juntamente com o modelo biomecânico tridimensional relativo ao condutor.

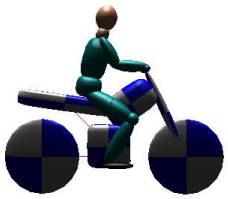


Figura 5.3 – Modelos de corpos múltiplos do motociclo e condutor usados na simulação computacional.

Considerou-se para o modelo do condutor uma massa e altura, respectivamente, de 78,4 kg e 1,755 m, dimensões antropométricas que correspondem a um ser humano adulto do sexo masculino, Percentil 50, o que significa que 50% da população no grupo em questão (adulto entre 18 e 65 anos, sexo masculino) tem dimensões inferiores ou iguais às descritas por este percentil (Silva, 2004).

Nas simulações computacionais realizadas foi utilizado um coeficiente de restituição de 0,1, um coeficiente de atrito para o solo de 0,8 e um coeficiente de atrito entre o motociclo e o asfalto de 0,6, sendo que no caso do modelo do condutor se considerou um coeficiente de atrito entre o corpo humano e o solo de 0,8 (Backaitis, 1989).

Na medida do possível, realizou-se ainda uma avaliação da influência da utilização do capacete nas lesões na cabeça do condutor, tendo em conta os parâmetros velocidade do motociclo e tipo de veículo ligeiro. O programa PC-Crash não permite a introdução de modelo de capacete nas simulações e dada a complexidade e morosidade associadas ao desenvolvimento de um modelo de capacete em CAD3D, modelação do mesmo em elementos finitos e posterior integração num sistema de corpos múltiplos antropomórfico recorrendo por exemplo ao programa Madymo, incompatíveis com o tempo disponível para conclusão deste trabalho, procurou-se uma forma alternativa de estimar a influência da utilização deste dispositivo. Então, para o apuramento da previsível redução dos níveis de lesão devido à utilização de capacete pelo condutor do motociclo, aplicaram-se dois factores de redução de lesão ao valor de HIC obtido nas simulações computacionais consoante a gravidade das lesões determinadas, sendo estes factores baseados no trabalho de Liu *et al*. (2008), no qual se concluiu que o capacete reduz o risco de lesão na cabeça entre condutores de motociclistas envolvidos em acidente em 69% e o risco de morte em 42%. Portanto, as equações (5.2 e (5.3 foram aplicadas na estimativa do nível de lesão na cabeça do condutor caso este utilizasse capacete.

$$HIC_{Capacete} = 0.31 \times HIC_{Sem\ Capacete}, \quad \text{se AIS} < 6 \tag{5.2}$$

$$HIC_{Capacete} = 0.58 \times HIC_{Sem\ Capacete}, \quad \text{se AIS} = 6 \tag{5.3}$$

Ressalve-se novamente que se trata de uma estimativa empírica e tendo em conta a sua origem, pouco conservadora, pois no trabalho de Liu *et al*. (2008) as lesões na cabeça incluem as lesões no crânio e cérebro, pelo que este valor será um máximo de redução de lesão.

A caracterização da colisão lateral envolvendo motociclos e OV através da análise de posição, velocidade e aceleração dos veículos encontra-se explicitada de forma detalhada no relatório

resultante (Bernardo e Dias, 2012b), bem como as restantes análises realizadas, tendo-se no entanto optado por apresentar os principais resultados obtidos em termos da estimativa da energia de deformação dos veículos e severidade das lesões do condutor do motociclo, dado o enquadramento da presente dissertação.

5.3 Análise das simulações de colisão lateral

De seguida apresenta-se uma descrição mais detalhada dos resultados obtidos para o ensaio de colisão entre o motociclo e o veículo ligeiro nº 1 (Porsche 911 Carrera Turbo) descrito na norma ISO13232, circulando o motociclo a 50 km/h e ocorrendo o impacto com um ângulo de 0º relativamente ao veículo ligeiro parado, bem como a explicitação dos cálculos efectuados. Para os restantes casos estudados, dado o elevado número de ensaios efectuados, apresentam-se apenas os principais resultados obtidos.

5.3.1 Estimativa da energia de deformação dos veículos

Na Figura 5.4 apresentam-se os fotogramas relativos à simulação de impacto referida anteriormente, mostrando a variação de posição dos veículos devido ao impacto.

a) b) c)

Figura 5.4 – Fotogramas a), b) e c) do impacto entre os veículos.

A análise de energia de deformação, ou seja, a energia transferida para cada veículo no impacto por deformação da sua estrutura é baseada no princípio de conservação da energia (equação (5.4) e (5.5)).

$$\Delta EC + \Delta EP + (Transformação\ em\ outras\ \ formas\ de\ energia) = 0 \tag{5.4}$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1\,i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2\,i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2_f}^2 + E_{Deformação} \tag{5.5}$$

Sendo v_{1_i} e v_{1_f} respectivamente, as velocidades do veículo ligeiro imediatamente antes e após o impacto e por sua vez v_{2_i} v_{2_f}, respectivamente, as velocidades do motociclo imediatamente antes e após o impacto e uma vez que as velocidades pré-impacto dos veículos e respectivas massas são condições iniciais conhecidas e que as velocidades imediatamente após o impacto são determinadas através do programa PC-Crash, aplicando o conceito de conservação de energia a cada um dos

veículos é possível estimar a respectiva energia de deformação. Os resultados obtidos em termos de velocidade dos veículos imediatamente após o impacto (V_f) e energia de deformação ($E_{Deformação}$) encontram-se na Tabela 27, bem como as respectivas velocidades iniciais (V_i) e massas.

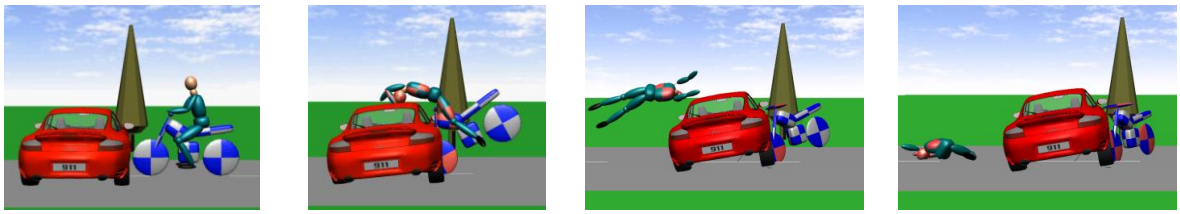
Tabela 27 – Massa, velocidade pré e pós-impacto e energia de deformação de cada veículo.

Veículo	Massa (kg)	V_i (km/h)	V_f (km/h)	$E_{Deformação}$ (kJ)
Motociclo	201	50,0	8,5	18,8
Ligeiro nº1	1552	0	6,0	2,2

Verifica-se que a energia transferida para o veículo ligeiro corresponde a 11,6% da energia trasnferida para o motociclo, absorvendo o motociclo cerca de 8,6 vezes mais energia que o ligeiro na colisão a 50 km/h e com ângulo de impacto de 0º.

5.3.2 Análise de lesão na cabeça

Na Figura 5.5 apresentam-se os fotogramas relativos à simulação de impacto com o veículo ligeiro nº1, mantendo as mesmas condições do ensaio anterior mas utilizando os modelos de corpos múltiplos do motociclo e do condutor para avaliar a gravidade das lesões resultantes com base nos níveis de aceleração da cabeça do condutor. Na simulação foi utilizado um passo de tempo de 0,5ms.



a) b) c) d)

Figura 5.5 – Fotogramas a), b), c) e d) da simulação de colisão utilizando modelos de corpos múltiplos do motociclo e corpo humano.

Nos ensaios efectuados determinaram-se as acelerações na cabeça do modelo computacional do condutor do motociclo durante a colisão, tal como se pode observar no gráfico da figura VII.3 presente no Anexo VII. O pico de aceleração mais elevado ocorre no instante t=0,170 s e equivale a 808,3 m/s^2 (82,4 g) e corresponde ao instante em que a cabeça do condutor do motociclo colide com o tejadilho do ligeiro, como se apresenta na Figura 5.6.

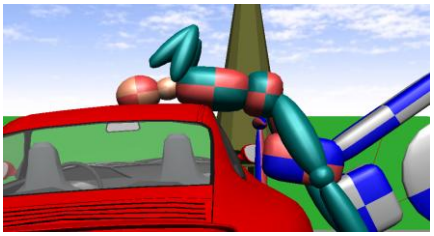


Figura 5.6 – Instante do impacto da cabeça do condutor do motociclo no tejadilho do ligeiro.

Na Tabela 28 apresentam-se o valor calculado para o critério de lesão na cabeça (HIC) nas condições do impacto, a gravidade das lesões correspondentes (AIS) e o potencial de redução nestes dois parâmetros se o condutor do motociclo utilizasse capacete ($HIC_{Capacete}$ e $AIS_{Capacete}$).

Tabela 28 – HIC e AIS para a simulação realizada e caso o condutor utilizasse capacete.

Impacto entre Motociclo e Ligeiro de Passageiros nº1 - (50 km/h, 0º)				
Limite HIC_{15}	**HIC_{15}**	**AIS**	**$HIC_{Capacete}$**	**$AIS_{Capacete}$**
700	566	2	176	1

Os valores determinados e apresentados na Tabela 28 indicam que para a colisão em causa a aceleração máxima da cabeça do condutor no impacto traduz-se num valor de HIC inferior ao limite máximo a partir do qual se considera que as probabilidades de ocorrência de lesões graves na cabeça são elevadas. Na verdade, obtém-se uma equivalência entre o valor de HIC obtido e um AIS de 2 (ver Figura VII.1 no Anexo VII), correspondente à ocorrência de lesões moderadas na cabeça, incluindo a possibilidade de fractura craniana com perda de consciência inferior a 15 minutos. A estimativa das consequências em termos de lesões na cabeça neste tipo de colisão analisada, caso o condutor do motociclo utilizasse capacete, sugerem uma redução substancial do nível de lesões, correspondente neste caso a um AIS de 1, indicativo da ocorrência de lesões na cabeça de gravidade mínima, como contusões cerebrais ligeiras e dores de cabeça.

5.3.3 Resultados obtidos

Apresentam-se de seguida na Tabela 29 os resultados obtidos em termos da energia de deformação do ligeiro ($\mathbf{ED_L}$) e motociclo ($\mathbf{ED_M}$) para cada ensaio realizado com o respectivo veículo ligeiro, divididos de acordo com a velocidade de impacto do motociclo ($\mathbf{V_{Mi}}$) e o ângulo de impacto ($\boldsymbol{\theta}$).

Tabela 29 – Energia de deformação dos veículos.

		Ligeiro nº1		Ligeiro nº2		Ligeiro nº3	
V_{Mi} (km/h)	**θ (º)**	**ED_L(kJ)**	**ED_M(kJ)**	**ED_L(kJ)**	**ED_M(kJ)**	**ED_L(kJ)**	**ED_M(kJ)**
50	0	2,2	18,8	2,1	18,8	1,7	18,8
	45	1,2	16,9	1,2	16,9	0,9	17,0
120	0	12,2	107,7	12,0	107,7	9,7	107,7
	45	5,3	90,3	5,0	90,3	4,0	91,1

Nas tabelas seguintes encontram-se agrupados os resultados obtidos em termos da biomecânica do impacto, nomeadamente, o valor de HIC e respectivo AIS nas condições do impacto e o potencial de redução nestes dois parâmetros devido ao capacete ($HIC_{Capacete\ e}$ $AIS_{Capacete}$).

Tabela 30 – HIC e AIS para as condições do impacto envolvendo o ligeiro nº1 e o potencial de redução se o condutor do motociclo usasse capacete.

Colisão Motociclo - Ligeiro nº1						
V_{Mi} (km/h)	θ (º)	HIC_{15}/HIC_{36}	AIS	$HIC_{Capacete}$	$AIS_{Capacete}$	Limite HIC_{15}/HIC_{36}
50	0	566 / -	2	176	1	700 / 1000
	45	139 / -	1	43	1	
120	0	32644 / -	6	18934	6	
	45	- / 2628	6	1524	6	

Tabela 31 – HIC e AIS para as condições do impacto envolvendo o ligeiro nº2 e o potencial de redução se o condutor do motociclo usasse capacete.

Colisão Motociclo - Ligeiro nº2						
V_{Mi} (km/h)	θ (º)	HIC_{15}/HIC_{36}	AIS	$HIC_{Capacete}$	$AIS_{Capacete}$	Limite HIC_{15}/HIC_{36}
50	0	748 / -	2	232	1	700 / 1000
	45	- / 574	2	178	1	
120	0	15427 / -	6	8948	6	
	45	- / 2844	6	1650	6	

Tabela 32 – HIC e AIS para as condições do impacto envolvendo o ligeiro nº3 e o potencial de redução se o condutor do motociclo usasse capacete.

Colisão Motociclo - Ligeiro nº3						
V_{Mi} (km/h)	θ (º)	HIC_{15}/HIC_{36}	AIS	$HIC_{Capacete}$	$AIS_{Capacete}$	Limite HIC_{15}/HIC_{36}
50	0	505 / -	2	157	1	700 / 1000
	45	1026 / -	3	318	1	
120	0	15139 / -	6	8781	6	
	45	4556 / -	6	2643	6	

5.4 Discussão dos resultados

Para o conjunto de colisões estudado verifica-se que com o aumento da velocidade do motociclo, a um dado ângulo de impacto, a energia de deformação dos veículos aumenta, mas ao alterar o ângulo de impacto do motociclo de 0º para 45º verifica-se que esta diminui para ambos os veículos. Com o aumento do ângulo de impacto, ao contrário dos veículos ligeiros, aumenta a velocidade pós-impacto do motociclo (Bernardo e Dias, 2012b), o que se atribui então à menor dissipação da energia cinética na deformação da estrutura dos veículos do que num impacto directo.

A energia transferida por deformação para os ligeiros no impacto é bastante inferior à que é absorvida pelo motociclo no conjunto dos casos estudados, tendo-se verificado que nas colisões com o ligeiro com maior massa e altura (ligeiro nº3) esta diferença é maior que nas colisões com os outros automóveis considerados (cerca de 2,0% e 1,5% mais energia transferida para o motociclo que nas colisões com os outros ligeiros nos impactos a 0º e 45º, respectivamente e em termos médios).

Conclui-se dos resultados obtidos que numa colisão lateral com um veículo ligeiro a maior parte da energia de deformação é transferida para o motociclo e que esta aumenta com o aumento da velocidade do impacto. Tendo em conta que os motociclos apresentam características de absorção de energia nulas ou quase nulas, não possuindo estruturas de absorção de energia como

acontece com os veículos automóveis, numa colisão, o motociclo tem um comportamento quase plástico, verificando-se assim a fragilidade deste veículo num impacto e aumentando a extensão dos danos com o aumento da velocidade. Tomando como exemplo a colisão entre o motociclo e o ligeiro nº3 a 120 km/h e com um ângulo de impacto de 0º, temos uma energia de deformação do motociclo cerca de 6 vezes superior à mesma energia para a mesma colisão a 50 km/h, absorvendo o motociclo cerca de 11,1 vezes mais energia que o ligeiro.

Em relação aos possíveis efeitos das colisões simuladas no corpo humano verificou-se a associação entre a velocidade do impacto e a gravidade das lesões para o condutor do motociclo na configuração de colisão em análise.

Para todas as colisões simuladas, verifica-se uma diferença acentuada em termos da amplitude do critério HIC e respectivo AIS, quando para as mesmas condições de impacto e tendo em conta que o modelo biomecânico não contempla a utilização de capacete, se varia a velocidade de 50 km/h para 120 km/h, variando o nível de gravidade de lesões, em praticamente todos os casos, de moderado para lesões fatais. Tem-se portanto que à medida que aumenta a velocidade do impacto, verifica-se que a probabilidade de o condutor do motociclo sofrer lesões devido ao impacto aumenta, tal como a gravidade das mesmas, no entanto e ao contrário do esperado, em termos de probabilidade de ocorrência de lesões graves e permanentes associada ao critério HIC, apesar de ser destacadamente superior em todos os impactos directos ocorridos à velocidade máxima de 120 km/h, entre estes, aquele com o maior valor de HIC corresponde à colisão entre o motociclo e o veículo ligeiro nº1, de menor massa e altura, verificando-se mesmo o menor valor de HIC nestas condições no impacto com o ligeiro nº3, veículo com os maiores valores de massa e altura entre os seleccionados. Analisando a dinâmica da colisão, verifica-se que apesar da elevada velocidade do impacto e a interrupção abrupta do movimento provocada pelo contacto com a carroçaria do veículo e que é mais abrupta no caso do veículo mais alto, nos restantes e principalmente no veículo de menor altura (veículo nº1), após o impacto do motociclo no ligeiro, o modelo biomecânico sofre uma rotação suplementar e consequente aceleração neste movimento até colidir com o tejadilho do veículo. Este movimento suplementar conjuga-se com um período de tempo superior em que a aceleração atinge valores elevados, comparativamente com os outros impactos directos a 120km/h como se pode verificar pelo gráfico da Figura 5.7, correspondente à variação da aceleração da cabeça nos primeiros 0,15s do impacto. Dentro da janela de tempo de 15ms em que se deve situar o intervalo de tempo que maximiza o HIC, verifica-se que na colisão com o ligeiro nº1, o período em que a aceleração é elevada é maior, sendo nos outros casos caracterizados mais por um pico de aceleração.

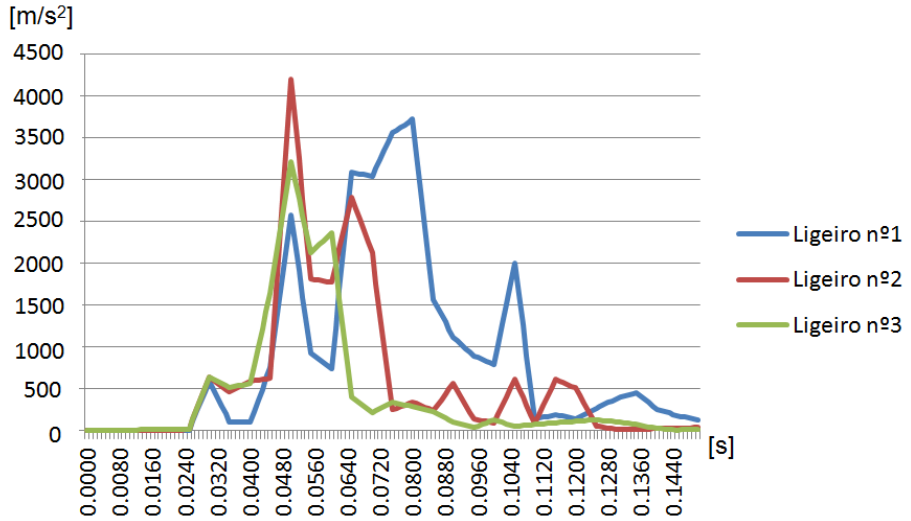


Figura 5.7– Variação da aceleração da cabeça nos primeiros 0,15s do impacto com cada veículo ligeiro.

Verifica-se ainda que em impactos com um ângulo de 45º o valor de HIC é bastante inferior, não se verificando no entanto uma diferença substancial em termos de gravidade de lesões dada pelo respectivo nível AIS, principalmente em colisões a 120 km/h, em que as consequências se situam sempre no limite de sobrevivência do condutor do motociclo.

Da análise dos efeitos do impacto no corpo humano, para cada situação simulada, constata-se a importância da protecção do condutor de um motociclo através da utilização de capacete, principalmente em impactos à velocidade mínima analisada (50 km/h), em que os resultados sugerem a redução de lesões de gravidade moderada, para um nível mínimo. Porém, os resultados das colisões à velocidade máxima considerada (120 km/h) sugerem também que a protecção oferecida pelo capacete é limitada pela velocidade do impacto pois o valor limite de HIC foi excedido em todas as colisões a esta velocidade e representando sempre nestes casos a morte do condutor.

O trabalho desenvolvido está limitado na validação dos resultados obtidos na simulação computacional dos impactos. Para tal seria necessário ter uma base de comparação com trabalhos semelhantes, reproduzindo as mesmas condições e testes de maneira a poder calibrar e validar os modelos computacionais. Tal não foi possível dadas as diferenças de métodos e modelos aplicados. Neste último ponto exemplifica-se com o caso do trabalho realizado por Deguchi (2005), em que para além da diferença de métodos, verifica-se que o tipo de veículos envolvidos apresenta diferenças substanciais, principalmente no caso do motociclo, que neste trabalho representa o estilo *scooter*, cuja geometria altera completamente o resultado da colisão e projecção do condutor (nomeadamente a superior área frontal, que oferece maior separação entre condutor e o veiculo ligeiro na colisão). Em termos de resultados, este trabalho também não disponibiliza os valores de aceleração obtidos nem determinou critérios de lesão, cingindo-se à comparação das curvas de aceleração entre ensaios computacionais e reais, para calibração dos modelos computacionais.

6 Recomendações relativas aos acidentes com VDRM em Portugal

De acordo com os resultados obtidos na presente investigação e com as conclusões e directivas propostas por outros trabalhos científicos desta índole, pretendeu-se elaborar um conjunto de medidas prioritárias especificamente direccionadas para os factores considerados como determinantes no risco acrescido de ocorrência de acidentes graves para os condutores de VDRM.

A compilação destas medidas pretende contribuir, de forma sustentada, para que os responsáveis pela segurança rodoviária em Portugal possam aumentar a compreensão acerca da sinistralidade rodoviária com VDRM e decidir desenvolvimentos futuros nesta área.

6.1 Medidas Prioritárias

1. Reforçar a fiscalização nas estradas nacionais, especificamente direcionada para o controlo da velocidade e identificação dos condutores infractores e praticantes de uma condução arriscada, reconhecendo-se a tendência de envolvimento dos motociclos desportivos e de elevada cilindrada nos acidentes graves com VDRM.

2. Desenvolver/reforçar campanhas de sensibilização dos condutores de VDRM e especificamente, de motociclos desportivos e de cilindrada elevada, para a prática de uma condução segura e defensiva, respeitando os limites de velocidade e destacando mesmo os riscos de conduzir a velocidades elevadas para a integridade física do próprio condutor.

3. Reforçar a fiscalização nos períodos identificados como críticos, nomeadamente, à noite, fim-de-semana e Verão, complementada com acções de consciencialização dos condutores de VDRM.

4. Sinalizar os principais pontos de ocorrência de acidentes graves com VDRM de forma a alertar e suscitar a precaução entre os condutores destes veículos e os restantes utentes da via. Incluir sinalização adequada em locais de possível interacção com OV a mudar de direcção, como sejam os cruzamentos e entroncamentos.

5. Reconhecer, por parte das autoridades policiais e entidades de segurança rodoviária as diferenças intrínsecas entre os dois tipos principais de VDRM, motociclos e ciclomotores, em termos de capacidades e padrões de utilização dos veículos na implementação de medidas e campanhas de prevenção.

6. Na formação dos novos condutores de VDRM realçar a exposição ao risco de ocorrência de lesões graves e morte associada aos motociclos, particularizando para os motociclos desportivos e de elevada cilindrada, mas esclarecendo a relação directa com a circulação a velocidades elevadas e excessivas. Identificar os períodos de maior risco de acidentes graves, ou seja, noite, fim-de-semana e Verão. Nestes pontos, reforçar a consciencialização dos condutores do género

masculino, com vista a corrigir comportamentos de risco, demonstrando a importância do uso do capacete e o risco associado a determinadas manobras do VDRM ou do OV em potenciais locais ou circunstâncias de conflito.

7. Alertar os condutores de VDRM, quer na sua formação, quer em campanhas de sensibilização para o uso correcto do capacete, acentuando a importância de ter o sistema de retenção convenientemente ajustado e fechado.

8. Alertar os condutores de VDRM, quer na sua formação, quer em campanhas de sensibilização para a potencial situação de colisão entre o VDRM e a lateral do OV e o que este tipo de acidente representa em termos de gravidade das lesões para o condutor do VDRM. Reforçar a necessidade de precaução e moderação da velocidade em locais em que é possível o OV realizar manobras de mudança de direcção, principalmente à esquerda, como sejam os cruzamentos e intersecções, devendo o condutor do VDRM assegurar-se de que vê e é visto pelos restantes utentes da estrada, não assumindo implicitamente que estes estão conscientes da sua presença.

9. Promover como vantagens dos VDRM relativamente aos veículos ligeiros, factores como a mobilidade, poupança de combustível, facilidade de estacionamento, meio mais adequado e eficiente de transporte de apenas uma pessoa, entre outros, de forma a criar uma mudança de mentalidades e minimizar a perspectiva de que os VDRM são mais atractivos pelo poder de aceleração e velocidades atingidas.

10. Incentivar o uso de vestuário de protecção, no sentido de prevenir lesões resultantes da inerente projecção do condutor do VDRM em caso de acidente. Uma vez reconhecida a sua limitação na protecção em impactos violentos (De Rome, 2006), procurar fomentar o desenvolvimento de elementos de protecção contra o impacto eficazes e possíveis de incorporar no próprio vestuário em zonas de maior risco de lesão grave, como o tórax, abdómen, membros superiores e inferiores. O vestuário de protecção é geralmente mais pesado que a roupa normal e provoca desconforto quando utilizado em climas quentes, criando stress fisiológico e psicológico (De Rome *et al*., 2011), pelo que é necessário estudar formas de reduzir estas razões que aumentam a relutância dos condutores de VDMR em investir nesta forma de protecção.

11. No sentido de aumentar a conspicuidade do condutor do VDRM, avaliar a legislação actual em termos de tornar o uso de elementos retroreflectores obrigatório, como sugerido no trabalho de Haque, Chin e Huang (2009). Numa fase inicial pode-se restringir esta medida ao período nocturno. Estes elementos podem também estar incorporados no próprio vestuário de protecção.

12. Explorar a aplicação de novos métodos eficazes no aumento da conspicuidade do VDRM para além da obrigatoriedade de circular sempre com as luzes de cruzamento ligadas, uma vez que recentes movimentações na CE sugerem a introdução desta medida para todos os veículos,

deixando de ser uma característica diferenciadora dos VDRM (Rößger *et al*., 2012). Neste contexto é essencial o desenvolvimento de novas soluções e avaliação de padrões de iluminação alternativos para os VDRM, como as recentes propostas de Maruyama e Tsutsumi (2007) e Rößger *et al*. (2012) em que se apresentam configurações exclusivas para estes veículos com o objectivo de permitir o seu reconhecimento imediato por parte dos outros condutores e aumentar a sua capacidade de avaliar a distância e velocidade dos VDRM, tal como ilustrado na Figura 6.1 (fonte: Rößger *et al*., 2012).

a) b) c)

Figura 6.1 – a) Vista convencional da zona frontal do VDRM com luz de cruzamento ligada, b) configuração em T, c) configuração em T com luzes no capacete.

13. O crescente desenvolvimento e implementação nos veículos dos ITS (*Intelligent Transport Systems*) aumenta potencialmente a segurança de todos os utentes da estrada e entre estes, os sistemas ISA (*Intelligent Speed Assistance*) aplicados aos VDRM e especificamente aos motociclos, poderão representar uma medida indispensável, no sentido de limitar a velocidade destes veículos e assim reduzir a incidência ou gravidade dos acidentes. As actuais limitações na aplicação de tais sistemas nos VDRM impõem que a investigação nesta área seja prioritária. Desacelerações súbitas podem comprometer a estabilidade do veículo e o espaço, bem como o peso destes sistemas limitam a sua instalação nos VDRM (ETSC, 2008). Além disso é fundamental compreender os efeitos na condução deste tipo de tecnologias, devendo o desenvolvimento e avaliação destes sistemas ser acompanhado pelos grupos de interesse, ou seja, os condutores de VDRM, de forma a facilitar a sua aceitação. A aplicação de sistemas de limitação de velocidade deverá ser generalizada em todos os veículos não só por uma questão de equidade, mas devido ao potencial aumento da diferença de velocidade entre veículos que ocorreria e o facto de um determinado tipo de veículo ficar reconhecido como aquele em que se pode circular a maior velocidade (Bayly, Regan e Hosking, 2006).

14. Em alternativa à limitação da velocidade, os VDRM poderão ser equipados com sistemas de aviso visual e sonoro de excesso de velocidade e de distância de segurança a outros veículos, como sugerido por De Lapparent (2006).

15. Avaliar a eficácia dos actuais dispositivos de detecção de velocidade instalados nas vias, nomeadamente os radares e agir em conformidade no sentido do aumento do número de dispositivos ou alteração e desenvolvimento do tipo de tecnologias utilizadas.

16. A circulação a velocidades elevadas aumenta significativamente (na ordem do quadrado da velocidade) a distância de travagem de um VDRM e consequentemente a distância total de imobilização do veículo em caso de emergência, pelo que a condução a velocidades moderadas, adequadas à via e às condições do trânsito e dentro dos limites impostos constitui a estratégia ideal para evitar tais contingências e que oferece maior segurança aos condutores destes veículos.

17. Os sistemas avançados de travagem podem contribuir para aumentar a capacidade de travagem e controlo do VDRM, colmatando limitações típicas no desempenho do seu condutor numa manobra de travagem em situações extremas, como sejam o controlo simultâneo dos dois sistemas independentes de travagem relativos a cada roda para maximizar a eficácia da manobra, compensando a transferência de massa do eixo traseiro para o dianteiro e resultante variação na tracção disponível; aplicação exagerada de pressão nos travões devido a reflexos de sobrevivência, resultando no bloqueio de uma ou ambas as rodas, ocorrendo tipicamente a perda de controlo da direcção no bloqueio da roda traseira ou perda de estabilidade por bloqueio da roda da frente e posterior projecção do condutor; falta de conhecimento e treino na utilização óptima dos travões. Logo, propõe-se, tal como sugerido na literatura (e.g., NHTSA, 2000a; Bayly, Regan e Hosking, 2006 e ETSC, 2008) que os VDRM sejam progressivamente equipados ou que, no mínimo, exista a opção por parte dos construtores de inclusão de sistemas ABS e CBS. O sistema ABS permite ao condutor, mesmo que inexperiente, aplicar a força de travagem máxima sem bloqueio das rodas, maximizando a eficácia da travagem mesmo em pisos escorregadios e manter o controlo direcional, uma vez que ambas as rodas se mantêm em rotação e o sistema CBS faz a distribuição automática da força de travagem pelas duas rodas ao accionar-se apenas um travão, o que é difícil de conseguir, mesmo por condutores experientes, em condições de emergência. A introdução destes sistemas deve ser acompanhada de análises custo/benefício de forma a validar ou refutar a relutância dos condutores na sua adopção devido à possível mecanização de certos aspectos da condução e ao investimento extra que estes sistemas implicam.

7 Conclusões e propostas para estudos futuros

No presente trabalho procurou-se realizar uma investigação aprofundada dos acidentes com VDRM em Portugal e identificar os factores críticos que influenciam a ocorrência de lesões graves nos seus condutores, de forma a fornecer um suporte para o planeamento de medidas de intervenção constituído por resultados concretos. Para tal, o trabalho realizado seguiu uma metodologia faseada, que se iniciou com uma revisão da literatura, no sentido de definir o conhecimento actual sobre o problema, seguido da identificação e enquadramento dos níveis de sinistralidade dos VDRM em Portugal comparativamente com os restantes países Europeus. Centrando a análise estatística no período de 2007-2010 verificou-se que apesar da evolução positiva verificada em Portugal na última década em termos de sinistralidade rodoviária, os acidentes com VDRM e particularmente, com motociclos, continuam a representar uma situação preocupante. Aprofundando a análise realizada, após terem sido identificados os potenciais factores que influenciam a gravidade dos acidentes com VDRM, aplicou-se o método de regressão ordinal para modelar a dependência estatisticamente significativa entre a gravidade das lesões do condutor deste veículo em caso de acidente e os diversos factores considerados, tendo-se recorrido à investigação de acidentes reais com VDRM para colmatar os resultados obtidos através da análise estatística.

De seguida apresentam-se as conclusões resultantes do trabalho desenvolvido e propostas a considerar em estudos futuros

7.1 Conclusões

Avaliando o conjunto dos resultados obtidos conclui-se que o factor humano constitui a principal causa de acidentes com VDRM em que resulta a morte ou lesões graves do seu condutor, destacando-se a condução a velocidades elevadas e excessivas para o local ou manobra realizada pelo próprio condutor do VDRM, negligenciando a sua segurança e dos restantes utentes da via. Concretizando a análise, identifica-se um potencial grupo de risco entre os condutores de VDRM, correspondente aos condutores de motociclos desportivos e de elevada cilindrada, em que a conjugação entre as características mecânicas destes veículos em termos de velocidades atingidas com comportamentos inadequados por parte dos seus condutores resultam num aumento do risco de lesões graves em caso de acidente.

Da presente investigação constata-se também que a colisão lateral e especificamente a colisão entre o VDRM e a lateral do OV em situações em que o OV realiza uma mudança de direcção para a esquerda é a principal configuração de acidente à qual está associada uma maior propensão para ocorrência de lesões graves ou a morte do condutor do VDRM e para qual contribuirá novamente o excesso de velocidade no caso dos motociclos mas também a sua reduzida conspicuidade, no caso dos ciclomotores.

Apesar da vulnerabilidade do condutor em impactos a velocidades elevadas, em que o principal dispositivo de segurança, ou seja, o capacete, é insuficiente para o proteger, conclui-se que a não

utilização do capacete constitui um factor principal de ocorrência de lesões de maior gravidade num acidente com VDRM.

Os acidentes com VDRM apresentam também uma correlação significativa no sentido da maior gravidade das lesões para o seu condutor com determinados períodos, nomeadamente, a noite, fins-de-semana e altura de Julho a Setembro e no sentido de menor gravidade se o condutor for do género feminino.

Os resultados obtidos neste trabalho sugerem também uma potencial associação entre lesões de maior gravidade nos condutores de VDRM se o acidente ocorrer dentro das localidades, em Arruamentos e Estradas Nacionais e se o condutor tiver uma idade compreendida entre os 20 e os 29 anos de idade e 1 a 6 anos de carta de condução.

A compreensão detalhada das causas dos acidentes graves envolvendo VDRM e dos mecanismos e distribuição das lesões no condutor, traduzidos por quantidades mensuráveis, revelam-se um instrumento valioso para se ter uma perspectiva fundamentada do problema e assim identificar as principais medidas a aplicar, bem como monitorizar a sua eficácia. Conclui-se neste sentido que a acção preventiva deverá combinar educação, fiscalização e engenharia. As políticas educativas devem influenciar e guiar mais intensamente o treino de condução e principalmente, o comportamento dos condutores de VDRM, aumentando a informação sobre a sua exposição ao risco e responsabilidade dos seus actos. A fiscalização deve ser o motor para a tomada de consciência e mudança de comportamento por parte dos condutores, devendo as intervenções ser focadas na redução de comportamentos transgressores, especificamente, condução em excesso de velocidade e intensificada nos períodos e locais identificados como críticos. A engenharia pode actuar no desenvolvimento de sistemas que aumentem a segurança do condutor em caso de acidente, como *airbags* ou melhoria da resistência ao impacto e capacidade de absorção de energia do capacete, ou ainda no sentido de prevenção aumentando a conspicuidade dos VDRM, sendo também importante a investigação e reconstituição computacional dos acidentes para clarificar a responsabilização nos mesmos, as suas causas e fornecer suporte às medidas de segurança.

Deve ser portanto incutido nos condutores de VDRM que a precaução constante no acto de condução de qualquer veículo e principalmente de motociclos se assume como a melhor salvaguarda contra o principal factor que influencia a ocorrência de acidentes graves: o próprio condutor do VDRM.

Todos os anos, em Portugal, centenas de condutores de VDRM morrem ou sofrem lesões graves em acidentes pelo que todos os esforços são poucos para melhorar a segurança rodoviária e num período de dificuldades económicas, com aumentos crescentes dos preços dos combustíveis é de esperar uma transferência dos condutores de veículos ligeiros para outros modos de transporte, sendo os VDRM uma opção forte e alterando assim a composição dos veículos nas estradas, propiciando-se uma maior interacção entre veículos ligeiros e os condutores de VDRM mais vulneráveis. Logo, é premente apostar seriamente na prevenção, direcionando as medidas para os factores principais de forma a aumentar a eficácia das acções.

7.2 Propostas para estudos futuros

Do trabalho realizado evidenciam-se diversas possibilidades em termos de investigação a explorar em estudos futuros no âmbito da sinistralidade rodoviária envolvendo VDRM ou mesmo abrangendo os restantes utentes das estradas, contribuindo desta forma para continuar a aumentar o conhecimento nesta área específica. Aqueles que foram identificados como principais pontos de interesse destacam-se nas seguintes propostas:

- Realizar parcerias com o Departamento de Matemática do IST na aplicação de métodos de análise estatística avançada aos dados de sinistralidade rodoviária e desenvolvimento de melhores modelos estatísticos no sentido de determinar os principais factores de risco associados aos acidentes graves em Portugal.

- Realizar estudos no sentido de caracterizar o condutor de VDRM em Portugal, de forma a identificar as principais falhas na condução e comportamento que influenciam a ocorrência de acidentes. Os trabalhos centrados no indivíduo são reduzidos, no entanto, a compreensão da relação entre as atitudes do condutor e o risco de acidente tem um elevado potencial de utilidade para a orientação das medidas de prevenção, pois possibilitam, por exemplo, identificar se um determinado comportamento de risco é deliberado, sendo a educação a forma de intervenção apropriada ou se este se deve a um défice de habilidade de condução, sendo neste caso o treino a forma de intervenção mais eficaz. Existem diversos exemplos de trabalhos desta índole a seguir na literatura, como é o caso do trabalho realizado por Hosking, Liu e Bayly (2010) dedicado à investigação do tempo de resposta aos perigos e padrões de mapeamento visual entre condutores de motociclo de diferentes níveis de experiência de condução, criando ambientes de condução controlada recorrendo a um simulador de motociclo e ambientes virtuais, como se pode observar na Figura 7.1. (Hosking, Liu e Bayly, 2010). A realização deste tipo de trabalhos no futuro seria viável dada a confluência de meios técnicos e humanos no seio da Universidade Técnica de Lisboa, uma vez que existem projectos aplicáveis a esta área na FMH (FMH, 2008), com grupos de trabalho multidisciplinares, equipamento adequado, capacidade para criar os ambientes virtuais e testar os condutores.

Figura 7.1 – Exemplo de simulador de condução de motociclo.

- Aumentar a base de dados de acidentes reais do NIAR e simultaneamente criar um registo, na linha do relatório MAIDS (ACEM, 2009), de condutores de VDRM expostos ao risco de acidente e

suas consequências mas que não sofreram acidentes, de forma a criar um grupo de controlo e poder realizar posteriores comparações com a população em risco.

- Reformular as bases de dados das entidades de segurança rodoviária, nomeadamente da ANSR, de forma a padronizar as mesmas no sentido de facilitar a investigação na área da sinistralidade rodoviária e incluir variáveis específicas dos VDRM, como sejam o estilo do veículo e a relação peso/potência e iniciar o registo dos Km percorridos pelos condutores de VDRM de forma a determinar a sua real exposição ao perigo, sugerindo-se para tal a colaboração com um grupo de condutores voluntários.

- No âmbito da reconstituição de acidentes a aplicação de modelos multi-corpo para calcular a resposta dinâmica de veículos e seus ocupantes com base nas posições de imobilização e lesões permite ultrapassar o elevado tempo de computação e desenvolvimento de modelos em elementos finitos detalhados e validados, impraticável dada a urgência inerente à solicitação de reconstituição dos acidentes. Nos acidentes envolvendo VDRM são utilizados modelos multi-corpo, porém, o processo de optimização das simulações é moroso e altamente dependente da interação do utilizador. Sugere-se a realização de investigação dedicada ao desenvolvimento de métodos de optimização de sistemas multi-corpo aplicados na reconstituição de acidentes.

- Realizar a análise e caracterização das colisões laterais envolvendo motociclos e veículos ligeiros de passageiros e mesmo expandir esta análise a outras configurações de acidente com estes veículos, recorrendo a programas como Madymo, que permitem conjugar modelos de corpos múltiplos e modelos de elementos finitos, incluindo na análise a deformação estrutural dos veículos, mas principalmente, a utilização de modelos antropométricos mais detalhados e que permitem determinar um maior número de critérios de lesão, relativos a outras zonas do corpo de extrema importância, como seja o tórax, não tendo como parâmetro único a aceleração do corpo e assim, definir melhor os mecanismos e níveis de lesão para o condutor do motociclo. A influência da utilização de capacete nas lesões do condutor pode também ser analisada de forma directa pela integração de modelos de capacete no modelo antropométrico.

8 Bibliografia

Aare, M. (2003). Prevention of Head Injuries focusing Specifically on Oblique Impacts. Doctoral Thesis. Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology (KTH).

Aarts, L., van Schagen, I. (2006). Driving speed and the risk of road crashes: a review. *Accident Analysis and Prevention, 38 (2),* 215-224.

ACAP (2011). "Vendas de Motociclos, Ciclomotores e Quadriciclos". Homologações, Estatísticas, Estudos e Serviços do Sector Automóvel - AUTO INFORMA Comercialização de Estudos e Prestação de Serviços do Sector Automóvel, Unipessoal Lda. Página consultada a 4 de Março de 2011, <http://www.autoinforma.pt/index.php?MIT=0&template_id=316&xpto=1&a[]=0,,,,,,,,,0,>.

ACEM (2003). MAIDS Report on the Project Methodology and Process. Brussels, Belgium: *Association des Constructeurs Européens de Motocycles*.

ACEM (2009). MAIDS In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers, Final Report 2.0. Brussels, Belgium: *Association des Constructeurs Européens de Motocycles*.

Agresti, A. (2007). An Introduction to Categorical Data Analysis, 2nd edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Albalate, D., Fernández-Villadangos, L. (2010). Motorcycle Injury Severity in Barcelona: The Role of Vehicle Type and Congestion. *Traffic Injury Prevention, 11 (6)*, 623-631.

Allison, P. D. (2001). Missing Data. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

ANSR (2010). Sinistralidade Rodoviária 2010. Observatório de Segurança Rodoviária. *Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária.*

ANSR (2011). "Dados de Sinistralidade". Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. Página consultada a 13 de Abril de 2011, <http://www.ansr.pt/Default.aspx?tabid=57>.

Backaitis, S. H. (1989). Reconstruction of Motor Vehicle Accidents: A Technical Compendium.Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

Bates, M. N., Blakely, T. A. (1999). Role of cannabis in motor vehicle crashes. *Epidemiologic Reviews, 21 (2)*, 222-232.

Bayly, M., Regan, M., Hosking, S. (2006). Intelligent transport systems and motorcycle safety. Melbourne, Australia: Monash University, Accident Research Centre.

Begg, D., Langley, J., Stephenson, S. (2003). Identifying factors that predict persistent driving after drinking, unsafe driving after drinking and driving after using cannabis among young adults. *Accident Analysis and Prevention, 35 (5)*, 669-675.

Bender, R., Benner, A. (2000). Calculating Ordinal Regression Models in SAS and S-Plus. *Biometrical Journal, 42 (6)*, 677-699.

Bernardo, D., Dias, J. (2012a). Análise detalhada da evolução da sinistralidade rodoviária com veículos de duas rodas motorizados no período 2007 - 2010. Lisboa: IDMEC, Instituto Superior Técnico.

Bernardo, D., Dias, J. (2012b). Análise de Colisões Laterais entre Motociclo e Veículos Ligeiros de Passageiros utilizando Modelos Computacionais para a Reconstituição do Impacto. Lisboa: IDMEC, Instituto Superior Técnico.

Bina, M., Graziano, F., Bonino, S. (2006). Risky driving and lifestyles in adolescence. *Accident Analysis and Prevention, 38 (3)*, 472-481.

Broughton, P. S., Fuller, R., Stradling, S., Gormley, M., Kinnear, N., O'Dolan, C., Hannigan, B. (2009). Conditions for speeding behaviour: A comparison of car drivers and powered two wheeled riders. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 12 (5)*, 417-427.

CARE (2010). "CARE database - reports and graphics". European Comission Road Safety. Página consultada a 13 de Maio de 2012, <http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/care_reports_graphics/>.
Chen, C. K., Hughes, J. (2004). Using Ordinal Regression Model to Analyze Student Satisfaction Questionnaires. *IR Applications, 1*, 1-13.

Clarke, D. D., Ward, P., Bartle, C., Truman, W. (2004). In Depth Study of Motorcycle Accidents, Road Safety Research Report Nº 54. London: Department for Transport.

Clarke, D. D., Ward, P., Bartle, C., Truman, W. (2007). The role of motorcyclist and other driver behavior in two types of serious accident in the UK. *Accident Analysis and Prevention, 39 (5)*, 974-981.

Clief, W. E., Montgomery, D. T. (1996). Validation of PC-Crash – A Momentum-Based Accident Reconstruction Program. *SAE Technical Paper 960885.*

Creaser, J., Ward, N., Rekauskas, M., Shankwitz, C., Boer, E. (2009). Effects of alcohol impairment on motorcycle riding skills. *Accident Analysis and Prevention, 41 (5)*, 906-913.

Crundall, D., Bibby, P., Clarke, D., Ward, P., Bartle, C. (2008). Car drivers' attitudes towards motorcyclists: A survey. *Accident Analysis and Prevention, 40 (3)*, 983-993.

Datentechnik, S. (2001). PC-Crash A Simulation program for Vehicle Accidents - Technical Manual 6.2. Linz, Austria.

De Lapparent, M. (2006). Empirical Bayesian analysis of accident severity for motorcyclists in large French urban areas. *Accident Analysis and Prevention, 38 (2)*, 260-268.

De Rome, L. (2006). The injury reduction benefits of motorcycle protective clothing. *Presentation to the National Transport Safety Board Motorcycle Safety Forum, September 12th & 13th*.

De Rome, L., Ivers, R., Haworth, N., Heritier, S., Du, W., Fitzharris, M. (2011). Novice riders and the predictors of riding without motorcycle protective clothing. *Accident Analysis and Prevention, 43 (3)*, 1095-1103.

Deguchi, M. (2005). Simulation of motorcycle-car collision. *19th International Technical Conference on the Enhanced Safety Vehicles (ESV), Paper No. 05-0041.* Washington DC, USA.

DeMarco, A. L., Chimich, D. D., Gardiner, J. C., Nightingale, R. W., Siegmund, G. P. (2010). The impact response of motorcycle helmets at different impact severities. *Accident Analysis and Prevention, 42 (6)*, 1778-1784.

Diário da República (2009). Lei nº 78/2009. In *Assembleia da República* (1ª Série), Nº 156. Lisboa.

Donário, A., Santos, R. (2012). Custo Económico e Social dos Acidentes de Viação em Portugal. Lisboa: Ediual.

Eppinger, R., Sun, E., Bandak, F., Haffner, M., Khaewpong, N., Maltese, M., Kuppa, S., Nguyen, T., Takhounts, E., Tannous, R., Zhang, A., Saul, R. (1999). Development of improved injury criteria for the assessment of advanced automotive restraint systems-II. *National Highway Traffic Safety Association*.

ERSO (2008). Annual Statistical Report 2007. Safety Net and the European Comission. Brussels, Belgium: *European Road Safety Observatory*.

ETSC (2008). VULNERABLE RIDERS - Safety implications of motorcycling in the European Union. Brussels, Belgium: *European Transport Safety Council*.

Euro NCAP (2004). *A*ssessment Protocol And Biomechanical Limits, Version 4.1.

European Comission (2001). Cost 327: Motorcycle Safety Helmets, Final Report of the Action. Brussels Belgium: Directorate General for Energy and Transport.

Eurostat (2011). "Eurostat Statistics". European Comission. Página consultada a 26 de Março de 2011, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database>.

FMH (2008). ErgoVR. ErgoLab Research Unit FMH//Technical University of Lisbon. Página consultada a 28 de Dezembro de 2011, <http://www.fmh.utl.pt/ergovr/index.htm>.

Fergusson, D. M., Horwood, L. (2001). Cannabis use and traffic accidents in a birth cohort of young adults. *Accident Analysis and Prevention, 33 (6)*, 703-711.

Field, A. (2005). Discovering statistics using SPSS: and sex and drugs and rock 'n' roll, 2nd edition. London: Sage.

Franck, H., Franck, D. (2010). Mathematical methods for accident reconstruction: A forensic engineering perspective. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.

Fuller, R., Bates, H., Gormley, M., Hannigan, B., Stradling, S., Broughton, P., Kinnear, N., O'Dolan, C. (2008). The Conditions for Inappropriate High Speed: A Review of the Research Literature From 1995 to 2006. Road Safety Research Report 92. London: Department for Transport.

Gao, S., Hui, S. L. (1997). Logistic regression models with missing covariate values for complex survey data. *Statistics in Medicine, 16* , 2419-2428.

Guo, L., Xian-Long, J., Zhang, X.-Y., Jie, S., Yi-Jiu, C., Jian-Guo, C. (2008). Study of injuries combining computer simulation in motorcycle–car collision accidents. *Forensic Science International, 177*, 90-96.

Han, I., Brach, R. (2001). Throw Model for Frontal Pedestrian Collisions. *Paper No. 2001-01-0898, SAE International*. Warrendale, PA.

Haque, M., Chin, H. C., Huang, H. (2009). Modeling fault among motorcyclists involved in crashes. *Accident Analysis and Prevention, 41 (2)*, 327-335.

Harris, C., Jenkins, M. (2006). Gender Differences in Risk Assessment: Why do Women Take Fewer Risks than Men?. *Judgment and Decision Making, 1*, 48-63.

Hosking, S., Liu, C., Bayly, M. (2010). The visual search patterns and hazard responses of experienced and inexperienced motorcycle riders. *Accident Analysis and Prevention, 42 (1)*, 196-202.

Hosmer, D. W., Lemeshow, S. (2000). Applied Logistic Regression, 2nd edition. New York: Wiley.

Huang, B., Preston, J. (2004). A Literature Review on Motorcycle Collisions: Final Report. Oxford University, Transport Studies Unit.

Hurt, H. H., Ouellet, J. V., Thom, D. R. (1981). Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures, Vol.I: Technical Report. Los Angeles, California: University of Southern California, Traffic Safety Center.

INE (2011). "Estimativas Anuais da População Residente". Portal de Estatísticas Oficiais. Página consultada a 14 de Junho de 2011, <http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0000611&selTab=tab0>.

INE (2012). Resultados Provisórios 2011. Censos 2011. Página consultada a 12 de Maio de 2012, <http://www.ine.pt/scripts/flex_provisorios/Main.html>.

Institute of Alcohol Studies (2009). Alcohol, other drugs and addiction. *IAS Factsheet* , 1-14.

Instituto de Meteorologia (2009). Análise Climatológica da Década 2000-2009 (Relatório preliminar - Portugal Continental). Página consultada a 1 de Abril de 2011, <http://www.meteo.pt/pt/media/comunicadosimprensa/comunidetail.html?f=/pt/media/comunicadosimprensa/arquivo/2009/CI_clima_decada_2000_2009.html>.

ISP (2012). Parque Automóvel Seguro. Instituto de Seguros de Portugal - Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões. Página consultada a 11 de Maio de 2012, <http://www.isp.pt/NR/exeres/7D383D46-9431-416E-98C7-395B0A9E7080.htm>.

Keng, S. H. (2005). Helmet use and motorcycle fatalities in Taiwan. *Accident Analysis and Prevention, 37 (2)*, 349-355.

Langham, M., Hole, G., Edwards, J., O'Neil, C. (2002). An analysis of "looked but failed to see" accidents involving parked police vehicles. *Ergonomics , 45*, 167-185.

Langley, J., Mullin, B., Jackson, R., Norton, R. (2000). Motorcycle engine size and risk of moderate to fatal injury from a motorcycle crash. *Accident Analysis and Prevention, 32 (5)*, 659-663.

Lardelli-Claret, P., Espigares-Rodriguez, E., Amezcua-Prieto, C., Jiménez-Molcón, J. J., Luna-del-Castillo, J. d., Bueno-Cavanillas, A. (2009). Association of age, sex and seat belt use with the risk of early death in drivers of passenger cars involved in traffic crashes. *International Journal of Epidemiology, 38*, 1128-1134.

Lee, H. C., Lee, A. H., Cameron, D., Li-Tsang, C. (2003). Using a driving simulator to identify older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes. *Journal of Safety Research, 34 (4)*, 453-459.

Lin, M. R., Kraus, J. F. (2009). A review of risk factors and patterns of motorcycle injuries. *Accident Analysis and Prevention, 41 (4)*, 710-722.

Liu, B. C., Ivers, R., Norton, R., Boufous, S., Blows, S., Lo, S. K. (2008). Helmets for preventing injury in motorcycle riders. *Cochrane Database of Systematic Reviews, Issue 1. Art. No.: CD004333*.

Liu, C., Hosking, S., Lenné, M. (2009). Hazard perception abilities of experienced and novice motorcyclists: An interactive simulator experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 12*, 325-334.

Liu, I., Agresti, A. (2005). The Analysis of Ordered Categorical Data: An Overview and a Survey of Recent Developments. *Sociedade de Estatística e Investigación Operativa Test, 14 (1)* , 1 - 73.

Magazzù, D., Comelli, M., Marinoni, A. (2006). Are car drivers holding a motorcycle licence less responsible for motorcycle - Car crash occurrence?. *Accident Analysis and Prevention, 38 (2)*, 365-370.

Maroco, J. (2007). Análise estatística com utilização do SPSS. Lisboa: Edições Sílabo.

Maruyama, K., Tsutsumi, Y. (2007). Long lighting system for enhanced conspicuity of motorcycles. *20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper No. 07-0182*. Lyon, France

Mattson, M., Heikki, S. (2010). With Power Comes Responsibility: Motorcycle Engine Power and Power-to-Weight Ratio in Relation to Accident Risk. *Traffic Injury Prevention, 11 (1)*, 87-95.

Molinero, A., Perandones, J. M., Hermitte, T., Grimaldi, A., Gwehengerber, J., Daschner, D., Barrios, J. M., Aparicio, A., Schick, S., van Elslande, P., Fouquet, K. (2008). TRACE (TRaffic Accident

Causation in Europe) - Deliverable 1.2 Road users and accident causation, Part2: In-depth accident causation analysis. European Comission.

Moser, A., Steffan, H., Kasanicky, G. (1999). The Pedestrian Model in PC-Crash - The Introduction of a Multi Body System and its Validation. *SAE Technical Paper 1999-01-0445.*

Mukherjee, S., Chawla, A., Mohan, D., Singh, M., Sakurai, M., Tamura, Y. (2001). Motorcycle-Car Side Impact Simulation. *International IRCOBI* (*International Research Council on the Biomechanics of Injury)* Conference on the Biomechanics of Impact, 133 - 141. Isle of Man.

Namiki, H., Nakamura, T., Iijima, S. (2005). A Computer Simulation for Motorcycle Rider Injury Evaluation in Collision.*19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper No. 05-0309.* Washington DC, USA.

National Institute on Drug Abuse (2010). InfoFacts: Drugged Driving. National Institutes of Health. Página consultada a 22 de Novembro de 2010, <http://www.drugabuse.gov/publications/drugfacts/drugged-driving>.

National Institutes of Health US (2007). Biological Sciences Curriculum Study, Information about Alcohol. NCBI - National Center for Biotechnology Information. Página consultada a 22 de Novembro de 2010, <http://www.ncvi.nlm.gov/books/NBK20360/>.

NHTSA (2000a). National Agenda for Motorcycle Safety. US Department of Transportation. Washington DC: *National Highway Traffic Safety Administration*.

NHTSA (2000b). Federal Motor Vehicle Safety Standards: Standard No.208, Occupant crash protection. US Department of Transportation. Washington DC: *National Highway Traffic Safety Administration*.

Nikravesh, P. E. (1988). Computer-Aided Analysis of Mechanical Systems. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

Nilsson, G. (2004). Traffic Safety Dimension and the Power Model to describe the Effect of Speed on Safety. PhD Thesis. Lund, Sweden: Lund Institute of Technology,.

Norusis, M. (2004). SPSS 13, Advanced statistical procedures companion. New Jersey: Prentice Hall Inc.

O'Connell, A. (2006). Logistic Regression Models for Ordinal Response Variables (Quantitative Applications in the Social Sciences). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

OECD/ITF (2011). IRTAD Road Safety 2010 Annual Report. Paris: OECD Publishing.

OECD/ITF (2012). IRTAD Road Safety 2011 Annual Report. Paris: OECD Publishing.

Orozco, G. (2006). Evaluation and comparison of the biomechanical responses of MADYMO Finite Element 5th percentile Human body model and Hybrid III 5th percentile dummy model in static OOP simulations. TNO.

Ouellet, J., Kasantikul, V. (2006). The effect of blood alcohol concentration on motorcycle crash characteristics. *Proceedings of the International Motorcycle Safety Conference, Motorcyle Safety Foundation*. Irvine, CA.

Pallant, J. (2001). SPSS Survival manual, A step by step guide to data analysis using SPSS for Windows (version 10 and 11). Philadelphia: Open University press.

Pang, T. Y., Radin Umar, R. S., Azahar, A. A., Megat, A. M., Mohd Nassir, M. T., Harwant, S. (2000). Accident characteristics of injured motorcyclists in Malaysia. *Medical Journal of Malaysia, 55 (1)*, 45-50.

Paulino, T. (2008). A importância do capacete nos acidentes com veículos de duas rodas e modelos computacionais para a melhoria das suas condições de segurança.Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Paulino, T., Dias, J., Hernandez, C. (2009). Avaliação do impacto da implementação da Directiva 91/439/CEE de 29 de Julho de 1991, em Portugal, relativa à condução de motociclos até 125 cm3 e potência inferior a 11 kw por portadores de carta de condução do tipo B. Lisboa: IDMEC, Instituto Superior Técnico.

Pereira, A. (2008). Guia Prático de Utilização do SPSS - Análise de Dados para Ciências Sociais e Psicologia, 7ª Edição - Revista e corrigida. Lisboa: Edições Sílabo.

Pina, A. (2005). Investigação e Estatística com o EpiInfo. Gabinete de Investigação e Estatística - Delegação Regional do Algarve do Instituto da Droga e Toxicodependência.

Pinnoji, P. K., Mahajan, P. (2010). Analysis of impact-induced damage and delamination in the composite shell of a helmet. *Materials and Design, 31*, 3716-3723.

Quddus, M., Noland, R., Chin, H. (2002). An analysis of motorcycle injury and vehicle damage severity using ordered probit models. *Journal of Safety Research, 33 (4)*, 445-462.

Rößger, L., Hagen, K., Krzywinski, J., Schlag, B. (2012). Recognisability of different configurations of front lights on motorcycles. *Accident Analysis and Prevention, 44 (1)*, 82-87.

Savolainen, P., Mannering, F. (2007). Probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single- and multi- vehicle crashes. *Accident Analysis and Prevention, 39*, 955-963.

Schmitt, K-U., Niederer, P., Muser, M., Walz, F. (2010). Trauma Biomechanics - Accidental injury in traffic and sports, 3rd edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Shankar, U., Varghese, C. (2006). Recent Trends in Fatal Motorcycle Crashes: An Update. US Department of Transportation. Washington DC: *National Highway Traffic Safety Administration*.

Silva, M. (2004). Apontamentos da Disciplina de BIOMECÂNICA DO MOVIMENTO: Licenciatura em Engenharia Biomédica, 1ª edição. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Simão, N. (2010). Análise agregada da eficácia das políticas de segurança rodoviária em Portugal. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Teoh, E. R., Campbell, M. (2010). Role of motorcycle type in fatal motorcycle crashes. *Journal of Safety Research, 41*, 507-512.

TNO (2004). Madymo v6.2 Model Manual. Delft.

Wells, S., Mullin, B., Norton, R., Langley, J., Connor, J., Lay-Yee, R., Jackson, R. (2004). Motorcycle rider conspicuity and crash related injury: case-control study. *British Medical Journal, 328 (7444)*, 857-857.

WHO (2009). *Global Status Report on Road Safety: Time for Action.* Geneva, Switzerland: *World Health Organization*.

Williams, R. (2006). Generalized ordered logit/partial proportional odds models for ordinal dependent variables. *The Stata Journal, 6 (1)* , 58–82.

Wong, J.-T., Chung, Y.-S., Huang, S.-H. (2010). Determinants behind young motorcyclists' risky riding behaviour. *Accident Analysis and Prevention, 42 (1)*, 275-281.

Yau, K. (2004). Risk factors affecting the severity of single vehicle traffic accidents in Hong Kong. *Accident Analysis and Prevention, 36 (3)*, 333-340.

Anexo I

Tabela 33 – Erros detectados na base de dados de vítimas em acidentes com VDRM em 2007, ANSR.

Ano	Veículo	Lesões	Licença/Carta condução	Idade	Nº de casos
2007	Motociclo > 50 cm^3 não limitado	Ferido leve	Sim	7	1
	Motociclo > 50 cm^3 limitado	Ferido leve	Sim	14	1
	Motociclo ≤ 50 cm^3	Ferido leve	Sim	15	1
	Ciclomotor	Ferido leve	Sim	13	1
2008	Motociclo > 50 cm^3 não limitado	Ferido grave	Sim	17	1
	Motociclo > 50 cm^3 não limitado	Ferido leve	Sim	17	28
	Motociclo > 50 cm^3 não limitado	Ferido leve	Sim	16	3
	Motociclo > 50 cm^3 limitado	Ferido leve	Sim	14	1
	Motociclo ≤ 50 cm^3	Ferido leve	Sim	10	1
2009	Motociclo > 50 cm^3 não limitado	Ferido leve	Sim	17	8
	Motociclo > 50 cm^3 não limitado	Ferido leve	Sim	16	2
	Motociclo > 50 cm^3 limitado	Ferido leve	Sim	14	1
	Motociclo > 50 cm^3 limitado	Ferido leve	Sim	2	1
	Motociclo ≤ 50 cm^3	Ferido leve	Sim	14	1
	Ciclomotor	Ferido grave	Sim	13	1
	Ciclomotor	Ferido grave	Sim	7	1
	Ciclomotor	Ferido leve	Sim	9	1
	Ciclomotor	Ferido leve	Sim	0	1
2010	Motociclo > 50 cm^3 não limitado	Ferido grave	Sim	17	2
	Motociclo > 50 cm^3 não limitado	Ferido leve	Sim	17	14
	Motociclo > 50 cm^3 não limitado	Ferido leve	Sim	16	2
	Motociclo > 50 cm^3 não limitado	Ferido leve	Sim	15	1
	Motociclo > 50 cm^3 limitado	Ferido leve	Sim	11	1
	Motociclo ≤ 50 cm^3	Ferido leve	Sim	15	1
	Motociclo ≤ 50 cm^3	Ferido leve	Sim	14	1
	Ciclomotor	Ferido leve	Sim	8	1
Total					78

ANEXO II

Tabela 34 – Descrição e distribuição de frequência das variáveis independentes.

Variável independente	Categorias da variável	Frequência (%)
Motorização do VDRM	1. Motociclo cilindrada ≤ 50 cc	1687 (6,9%)
	2. Motociclo cilindrada > 50 cc e potência limitada	4816 (19,6%)
	3. Motociclo cilindrada > 50 cc e potência não limitada	5469 (22,2%)
	4. Ciclomotor	12647 (51,4%)
Aplicação Lei das 125 cm^3	0. Acidente ocorrido após Agosto de 2009	7847 (31,9%)
	1. Acidente ocorrido até Agosto de 2009	16772 (68,1%)
Idade do condutor	1. Superior ou igual a 50 anos	6822 (27,7%)
	2. 40 – 49 anos	4104 (16,7%)
	3. 30 – 39 anos	5961 (24,2%)
	4. 20 – 29 anos	5352 (21,7%)
	5. Até 19 anos	2380 (9,7%)
Género do condutor	0. Feminino	2514 (10,2%)
	1. Masculino	22105 (89,8%)
Anos de carta	1. Não registado	2692 (10,9%)
	2. Superior ou igual a 21 anos	4611 (18,7%)
	3. 12 – 20 anos	4233 (17,2%)
	4. 7 – 11 anos	5262 (21,4%)
	5. 2 – 6 anos	4500 (18,3%)
	6. Até 1 ano	3321 (13,5%)
Estado da carta	0. Irregular	2870 (11,7%)
	1. Regular	21749 (88,3%)
TAS	1. Não medida por lesão/morte condutor	1351 (5,5%)
	2. Não medida por outras razões	1140 (4,6%)
	3. Superior ou igual a 0,5 g/l	2377 (9,7%)
	4. Inferior a 0,5 g/l	19751 (80,2%)
Uso de Capacete	0. Sem capacete	424 (1,7%)
	1. Com capacete	24195 (98,3%)
Condições de iluminação	1. Aurora ou crepúsculo	660 (2,7%)
	2. Noite com iluminação	4457 (18,1%)
	3. Noite sem iluminação	1367 (5,6%)
	4. Dia	18135 (73,7%)
Condições atmosféricas	0. Mau tempo	2512 (10,2%)
	1. Bom tempo	22107 (89,8%)
Condições de aderência do piso	1. Molhado	4074 (16,5%)
	2. Gelo	46 (0,2%)
	3. Outros	650 (2,6%)
	4. Seco e limpo	19849 (80,6%)
Período do ano	1. Abril - Junho	6319 (25,7%)
	2. Julho - Setembro	7671 (31,2%)
	3. Outubro - Dezembro	5686 (23,1%)
	4. Janeiro - Março	4943 (20,1%)
Dia	0. Fim-de-semana	7415 (30,1%)
	1. Dias úteis (2ª a 6ª feira)	17204 (69,9%)
Hora	1. 16:01 – 18:00h	3814 (15,5%)
	2. 18:01 – 0:00h	7467 (30,3%)
	3. 0:01 – 7:00h	1470 (6,0%)
	4. 7:01 – 9:00h	2121 (8,6%)
	5. 9:01 – 16:00h	9747 (39,6%)
Distrito	1. Porto	3492 (14,2%)
	2. Viana do Castelo	531 (2,2%)
	3. Braga	1685 (6,8%)
	4. Vila Real	266 (1,1%)

	5. Bragança	169 (0,7%)
	6. Aveiro	3043 (12,4%)
	7. Viseu	1105 (4,5%)
	8. Guarda	302 (1,2%)
	9. Coimbra	1538 (6,2%)
	10. Leiria	1847 (7,5%)
	11. Castelo Branco	368 (1,5%)
	12. Santarém	1456 (5,9%)
	13. Portalegre	158 (0,6%)
	14. Setúbal	1613 (6,6%)
	15. Évora	359 (1,5%)
	16. Beja	354 (1,4%)
	17. Faro	1922 (7,8%)
	18. Lisboa	4411 (17,9%)
Localização	0. Fora das localidades	5056 (20,5%)
	1. Dentro das localidades	19563 (79,5%)
Tipo de via	1. Estrada Nacional	5349 (21,7%)
	2. Auto-Estrada	561 (2,3%)
	3. Estrada Municipal	2539 (10,3%)
	4. Itinerário Complementar	421 (1,7%)
	5. Itinerário Principal	69 (0,3%)
	6. Variante	76 (0,3%)
	7. Estrada Regional	92 (0,4%)
	8. Estrada Florestal	38 (0,2%)
	9. Ponte	4 (0,0%)
	10. Outra via	416 (1,7%)
	11. Arruamento	15054 (61,1%)
Tipo de intersecção	1. Cruzamento/Entroncamento	8232 (33,4%)
	2. Rotunda	1431 (5,8%)
	3. Ramo de ligação – entrada	122 (0,5%)
	4. Ramo de ligação – saída	60 (0,2%)
	5. Via de aceleração	190 (0,8%)
	6. Via de desaceleração	140 (0,6%)
	7. Passagem de nível	21 (0,1%)
	8. Fora da intersecção	14423 (58,6%)
Estado de conservação do piso	0. Mau estado	856 (3,5%)
	1. Bom estado/regular	23763 (96,5%)
Natureza do acidente	1. Colisão frontal	2872 (11.7%)
	2. Colisão traseira com outro veículo em movimento	2186 (8,9%)
	3. Colisão com veículo ou obstáculo na faixa de rodagem	915 (3,7%)
	4. Colisão com choque em cadeia	53 (0,2%)
	5. Colisão com fuga	411 (1,7%)
	6. Colisão com outras situações	1235 (5,0%)
	7. Despiste simples	5636 (22,9%)
	8. Despiste com dispositivo de retenção	276 (1,1%)
	9. Despiste sem dispositivo de retenção	1199 (4,9%)
	10. Despiste com transposição do dispositivo de retenção lateral	107 (0,4%)
	11. Despiste com colisão com veículo imobilizado ou obstáculo	834 (3,4%)
	12. Despiste com capotamento	361 (1,5%)
	13. Despiste com fuga	30 (0,1%)
	14. Atropelamento de animais	129 (0,5%)
	15. Atropelamento de peões	234 (1,0%)
	16. Colisão lateral com outro veículo em movimento	8141 (33,1%)
Manobras realizadas pelo condutor antes do acidente	1. Ultrapassagem pela esquerda	1257 (5,1%)
	2. Ultrapassagem pela direita	133 (0,5%)

	3. Mudança de direcção para a esquerda	1073 (4,4%)
	4. Mudança de direcção para a direita	330 (1,3%)
	5. Mudança de via de trânsito para a esquerda	122 (0,5%)
	6. Mudança de via de trânsito para a direita	78 (0,3%)
	7. Desvio brusco/saída de fila de trânsito	531 (2,2%)
	8. Trânsito em filas paralelas	30 (0,1%)
	9. Circulação em sentido oposto ao estabelecido	139 (0,6%)
	10. Saída de parqueamento ou de rua particular	148 (0,6%)
	11. Início de marcha	537 (2,2%)
	12. Parado ou estacionado	188 (0,8%)
	13. Travagem brusca	277 (1,1%)
	14. Atravessando a via	158 (0,6%)
	15. Inversão do sentido de marcha	51 (0,2%)
	16. Marcha atrás	29 (0,1%)
	17. Em marcha normal	19538 (79,4%)

ANEXO III

Tabela 35 – Significância estatística e OR (IC de 95%) das variáveis do modelo reduzido.

Factores	N	OR	IC de 95%	Valor-p
Motorização do VDRM				
Motociclo	11972	0.662	(0.608-0.720)	0.000*****
Ciclomotor	12647	1.000	-	-
Género				
Feminino	2514	2.130	(1.752-2.588)	0.000*****
Masculino	22105	1.000	-	-
Uso de capacete				
Sem capacete	424	0.174	(0.143-0.211)	0.000*****
Com capacete	24195	1.000	-	-
Condições de iluminação				
Noite	6484	0.624	(0.572-0.680)	0.000*****
Dia	18135	1.000	-	-
Período do ano				
Abril – Junho	6319	0.921	(0.815-1.042)	0.190
Julho – Setembro	7671	0.857	(0.763-0.963)	0.009*****
Outubro – Dezembro	5686	1.064	(0.937-1.209)	0.338
Janeiro – Março	4943	1.000	-	-
Dia				
Fim-de-semana	7415	0.668	(0.614-0.726)	0.000*****
Dias úteis	17204	1.000	-	-
Manobras realizadas antes do acidente				
Ultrapassagem pela esquerda	1257	0.991	(0.827-1.189)	0.924
Ultrapassagem pela direita	133	0.748	(0.450-1.243)	0.263
Mudança de direcção para a esquerda	1073	0.773	(0.632-0.944)	0.012*****
Mudança de direcção para a direita	330	0.085	(0.950-2.219)	1.452
Mudança de via	731	0.668	(0.543-0.820)	0.000*****
Trânsito em filas paralelas	30	0.985	(0.298-3.254)	0.980
Circulação em sentido oposto	139	0.319	(0.219-0.464)	0.000*****
Atravessando a via	158	0.388	(0.262-0.575)	0.000*****
Travagem brusca	277	1.041	(0.707-1.531)	0.840
Outras manobras	953	1.184	(0.939-1.495)	0.154
Em marcha normal	19538	1.000	-	-

***** A variável apresenta uma associação significativa com a resposta ordinal (p<0,05).

ANEXO IV

Resultados da aplicação da regressão ordinal ao modelo reduzido fornecidos pelo SPSS

Warnings

There are 785 (43,0%) cells (i.e., dependent variable levels by combinations of predictor variable values) with zero frequencies.

Tabela 36– Descrição e distribuição de frequência das variáveis do modelo reduzido.

Case Processing Summary

		N	Marginal Percentage
lesoes	Ferido leve	21916	89,0%
	Ferido grave	2132	8,7%
	Morto	571	2,3%
sexo	Feminino	2514	10,2%
	Masculino	22105	89,8%
capacete	Sem capacete	424	1,7%
	Com capacete	24195	98,3%
luminosidade_corrig	Noite	6484	26,3%
	Dia	18135	73,7%
mes	Abril - Junho	6319	25,7%
	Julho - Setembro	7671	31,2%
	Outubro - Dezembro	5686	23,1%
	Janeiro - Março	4943	20,1%
dia	Fim de semana	7415	30,1%
	Dias úteis (2ª a 6ª)	17204	69,9%
manobras_corrig	Ultrapassagem pela esquerda	1257	5,1%
	Ultrapassagem pela direita	133	,5%
	Mudança de direcção para a esquerda	1073	4,4%
	Mudança de direcção para a direita	330	1,3%
	Mudança de via	731	3,0%
	Trânsito em filas paralelas	30	,1%
	Circulação em sentido oposto ao estabelecido	139	,6%
	Atravessando a via	158	,6%
	Travagem brusca	277	1,1%
	Outras manobras	953	3,9%
	Em marcha normal	19538	79,4%
motoriz_corrig	Motociclo	11972	48,6%
	Ciclomotor	12647	51,4%
Valid		24619	100,0%

Missing	0	
Total	24619	

Tabela 37 – Ajuste do modelo por comparação do modelo completo com o modelo sem as variáveis independentes.

Model Fitting Information

Model	-2 Log Likelihood	Chi-Square	df	Sig.
Intercept Only	2955,771			
Final	2148,468	807,303	18	,000

Link function: Logit.

Tabela 38 – Testes da Qualidade do Ajuste de Pearson e da Desviância.

Goodness-of-Fit

	Chi-Square	df	Sig.
Pearson	1146,342	1198	,855
Deviance	1019,559	1198	1,000

Link function: Logit.

Tabela 39 – Teste da Força da Associação entre a variável dependente e as independentes (Pseudo R^2).

Pseudo R-Square

Cox and Snell	,032
Nagelkerke	,058
McFadden	,041

Link function: Logit.

Tabela 40 – Estimativas dos parâmetros.

Parameter Estimates

							95% Confidence Interval	
		Estimate	Std. Error	Wald	df	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
Threshold	[lesoes = 0]	2,687	,060	2019,545	1	,000	2,569	2,804
	[lesoes = 1]	4,379	,071	3787,762	1	,000	4,240	4,519
Location	[sexo=0]	-,756	,100	57,513	1	,000	-,951	-,561
	[sexo=1]	0[a]	.	.	0	.	.	.
	[capacete=0]	1,751	,099	310,217	1	,000	1,556	1,946
	[capacete=1]	0[a]	.	.	0	.	.	.
	[luminosidade_corrig=0]	,471	,044	112,966	1	,000	,385	,558

[luminosidade_corrig=1]	0[a]	.	.	0	.	.	.
[mes=1]	,082	,063	1,719	1	,190	-,041	,205
[mes=2]	,154	,059	6,739	1	,009	,038	,271
[mes=3]	-,062	,065	,918	1	,338	-,190	,065
[mes=4]	0[a]	.	.	0	.	.	.
[dia=0]	,404	,043	88,768	1	,000	,320	,488
[dia=1]	0[a]	.	.	0	.	.	.
[manobras_corrig=1]	,009	,093	,009	1	,924	-,173	,190
[manobras_corrig=2]	,290	,259	1,252	1	,263	-,218	,798
[manobras_corrig=3]	,258	,102	6,368	1	,012	,058	,458
[manobras_corrig=4]	-,373	,216	2,970	1	,085	-,797	,051
[manobras_corrig=5]	,404	,105	14,725	1	,000	,198	,610
[manobras_corrig=6]	,015	,610	,001	1	,980	-1,180	1,211
[manobras_corrig=7]	1,143	,192	35,530	1	,000	,767	1,519
[manobras_corrig=8]	,946	,201	22,203	1	,000	,553	1,340
[manobras_corrig=9]	-,040	,197	,041	1	,840	-,426	,347
[manobras_corrig=10]	-,169	,119	2,034	1	,154	-,402	,063
[manobras_corrig=11]	0[a]	.	.	0	.	.	.
[motoriz_corrig=0]	,413	,043	92,184	1	,000	,328	,497
[motoriz_corrig=1]	0[a]	.	.	0	.	.	.

Link function: Logit.

a. This parameter is set to zero because it is redundant.

Tabela 41 – Teste das linhas paralelas.

Test of Parallel Lines[a]

Model	-2 Log Likelihood	Chi-Square	df	Sig.
Null Hypothesis	2148,468			
General	2123,356	25,112	18	,122

The null hypothesis states that the location parameters (slope coefficients) are the same across response categories.

a. Link function: Logit.

ANEXO V

Tabela 42 – Classificação dos veículos de acordo com o Código da Estrada.

Artigo 105.º
Automóvel é o veículo com motor de propulsão, dotado de pelo menos quatro rodas, com tara superior a 550 kg, cuja velocidade máxima é, por construção, superior a 25 km/h, e que se destina, pela sua função, a transitar na via pública, sem sujeição a carris.
Artigo 106.º
1 – Os automóveis classificam-se em: a) Ligeiros – veículos com peso bruto igual ou inferior a 3500 kg e com lotação não superior a nove lugares, incluindo o do condutor; b) Pesados – veículos com peso bruto superior a 3500 kg ou com lotação superior a nove lugares, incluindo o do condutor. 2 – Os automóveis ligeiros ou pesados incluem-se, segundo a sua utilização, nos seguintes tipos: a) De passageiros – os veículos que se destinam ao transporte de pessoas; b) De mercadorias – os veículos que se destinam ao transporte de carga. 3 – Os automóveis de passageiros e de mercadorias que se destinam ao desempenho de função diferente do normal transporte de passageiros ou de mercadorias são considerados especiais, tomando a designação a fixar em regulamento, de acordo com o fim a que se destinam. 4 – As categorias de veículos para efeitos de aprovação de modelo são fixadas em regulamento.
Artigo 107.º
1 – Motociclo é o veículo dotado de duas rodas, com ou sem carro lateral, com motor de propulsão com cilindrada superior a 50 cm^3, no caso de motor de combustão interna, ou que, por construção, exceda em patamar a velocidade de 45 km/h. 2 – Ciclomotor é o veículo dotado de duas ou três rodas, com uma velocidade máxima, em patamar e por construção, não superior a 45 km/h, e cujo motor: a) No caso de ciclomotores de duas rodas, tenha cilindrada não superior a 50 cm^3, tratando-se de motor de combustão interna ou cuja potência máxima não exceda 4 kW, tratando-se de motor eléctrico; b) No caso de ciclomotores de três rodas, tenha cilindrada não superior a 50 cm^3, tratando-se de motor de ignição comandada ou cuja potência máxima não exceda 4 kW, no caso de outros motores de combustão interna ou de motores eléctricos. 3 – Triciclo é o veículo dotado de três rodas dispostas simetricamente, com motor de propulsão com cilindrada superior a 50 cm^3, no caso de motor de combustão interna, ou que, por construção, exceda em patamar a velocidade de 45 km/h. 4 – Quadriciclo é o veículo dotado de quatro rodas, classificando-se em:

a) Ligeiro – veículo com velocidade máxima, em patamar e por construção, não superior a 45 km/h, cuja massa sem carga não exceda 350 kg, excluída a massa das baterias no veículo eléctrico e com motor de cilindrada não superior a 50 cm^3, no caso de motor de ignição comandada, ou cuja potência máxima não seja superior a 4 kW, no caso de outros motores de combustão interna ou de motor eléctrico;

b) Pesado – veículo com motor de potência não superior a 15 kW e cuja massa sem carga, excluída a massa das baterias no caso de veículos eléctricos, não exceda 400 kg ou 550 kg, consoante se destine, respectivamente, ao transporte de passageiros ou de mercadorias.

Artigo 112.º

1 – Velocípede é o veículo com duas ou mais rodas accionado pelo esforço do próprio condutor por meio de pedais ou dispositivos análogos.

2 – Velocípede com motor é o velocípede equipado com motor auxiliar eléctrico com potência máxima contínua de 0,25 kW, cuja alimentação é reduzida progressivamente com o aumento da velocidade e interrompida se atingir a velocidade de 25 km/h, ou antes, se o ciclista deixar de pedalar.

3 – Para efeitos do presente Código, os velocípedes com motor e as trotinetas com motor são equiparados a velocípedes.

Tabela 43 – Estilos de motociclo.

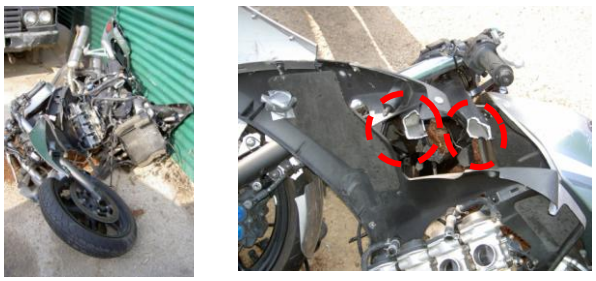
Scooter		**Turístico**	
Off-Road		**Utilitário**	
Custom		**Desportivo**	

ANEXO VI

Figura VI.1 – Fotografia aérea do local do acidente com indicação do sentido de circulação do motociclo e locais de atropelamento.

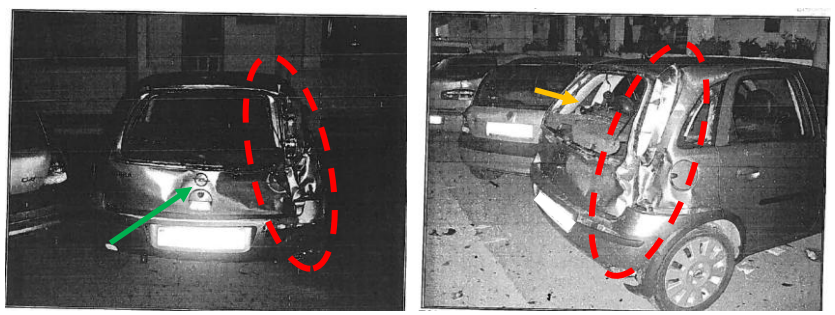
Tabela 44 – Características do motociclo.

Fabricante	Yamaha
Modelo	YZF-R6 (RJ05)
Ano	2003
Massa (kg)	189
Cilindrada (cm^3)	600
Potência máxima (kW/rpm)	88,3/13000
Estilo	Desportivo



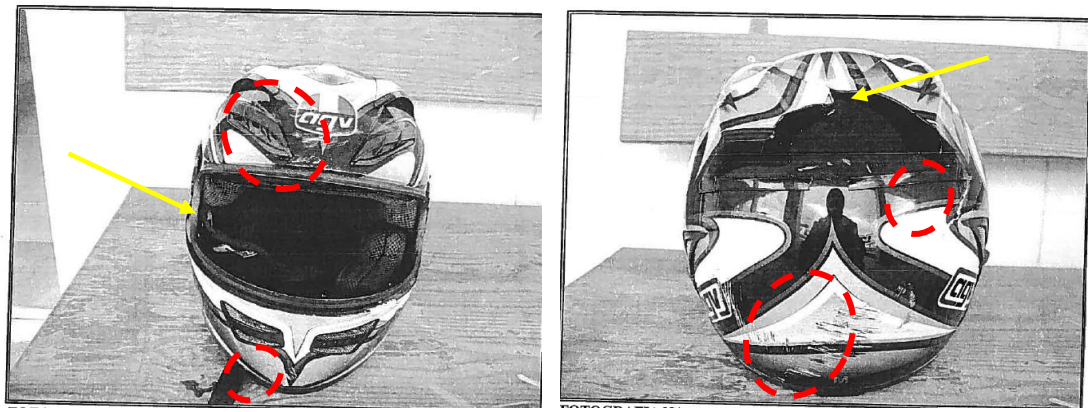
a) b)

Figura VI.2– Fotografia do motociclo: a) numa vista geral das deformações verificadas, b) numa perspectiva aproximada de alguns dos danos no quadro do veículo (pormenores a vermelho).



a) b)

Figura VI.3 – Fotografia da zona: a) anterior, b) lateral direita do ligeiro Opel Corsa, realçando-se os danos visíveis (pormenores a vermelho e setas a verde e amarelo).



a) b)

Figura VI.4 – a) Zona anterior e b) Zona posterior do capacete do condutor do motociclo, com indicação dos danos visíveis.

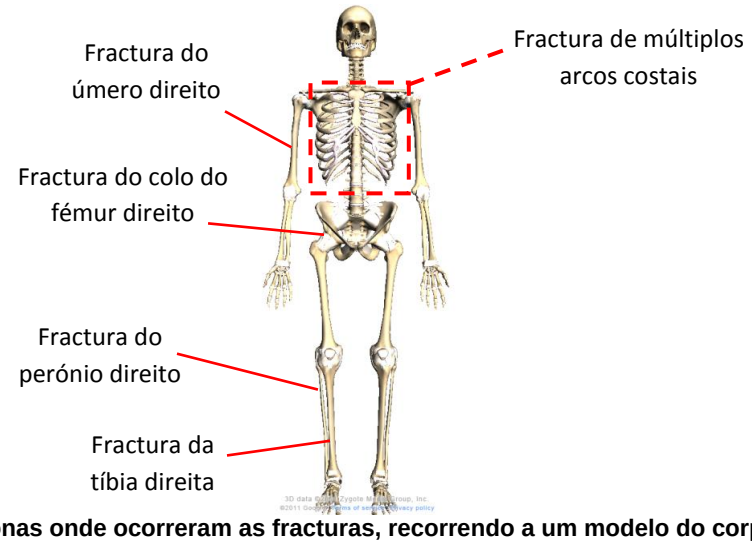

Fractura do úmero direito
Fractura de múltiplos arcos costais
Fractura do colo do fémur direito
Fractura do perónio direito
Fractura da tíbia direita

Figura VI.5 – Zonas onde ocorreram as fracturas, recorrendo a um modelo do corpo humano.

a) b)

Figura VI.6 – Modelos de: a) motociclo e condutor, b) peões utilizados na reconstituição computacional do acidente.

a)Veiculo 1 b)Veiculo 2 c)Veiculo 3 d)Veículo 4

Figura VI.7 – Modelos dos ligeiros de passageiros utilizados na reconstituição computacional.

Figura VI.8 – Fotografia aérea do local do acidente, com indicação da zona onde ocorreu a colisão.

Figura VI.9 – Fotografia do local do acidente, na perspectiva do sentido de marcha dos veículos (seta a vermelho).

Tabela 45 – Características do veículo nº 1 e veículo nº2.

	Veículo nº1	**Veículo nº2**
Fabricante	Vespa	Volvo
Modelo	150	V70-XC
Ano	1961	1997
Massa (kg)	93	1600
Cilindrada (cm^3)	145,45	2435
Potência máxima (kW/rpm)	6,0/7000	142/5200
Estilo	Scooter	-

a) b)

Figura VI.10 – Fotografia a) aproximada da zona traseira e lateral esquerda do motociclo, b) do lado direito do motociclo, na sua posição normal de condução.

a) b)

Figura VI.11 – Fotografia da zona: a) frontal lateral direita, b) frontal do ligeiro de passageiros.

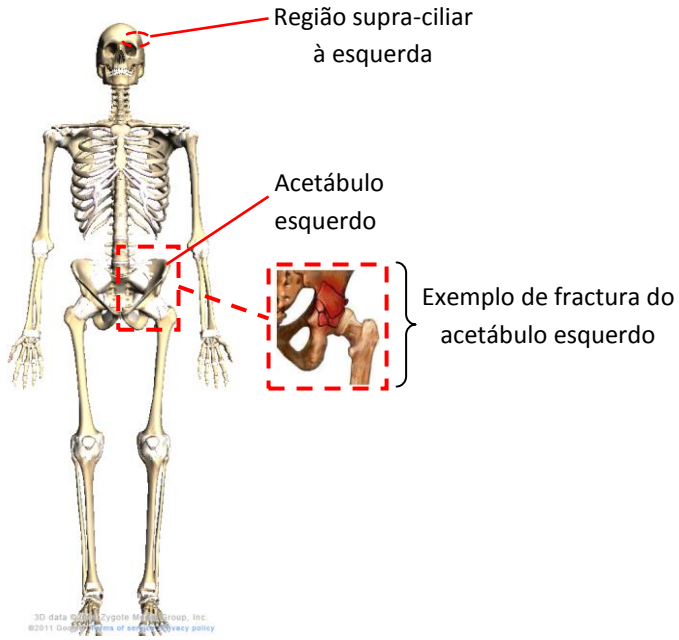
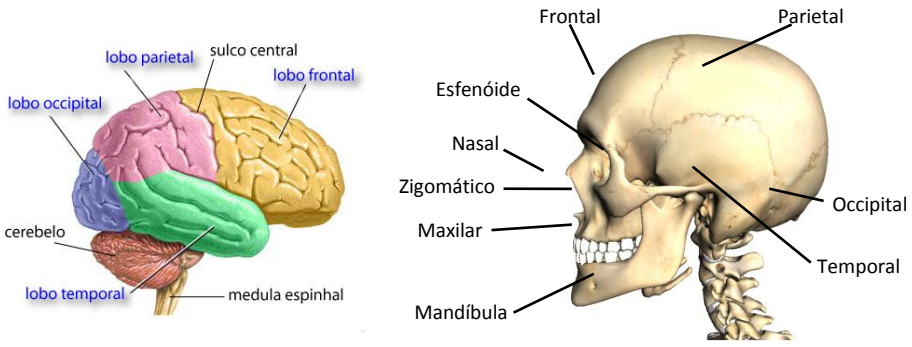


Figura VI.12 – Zonas onde ocorreram as lesões, recorrendo a um modelo do corpo humano.



a) b)

Figura VI.13– Regiões do a) cérebro e b) crânio, em que se verificaram lesões na vítima mortal.

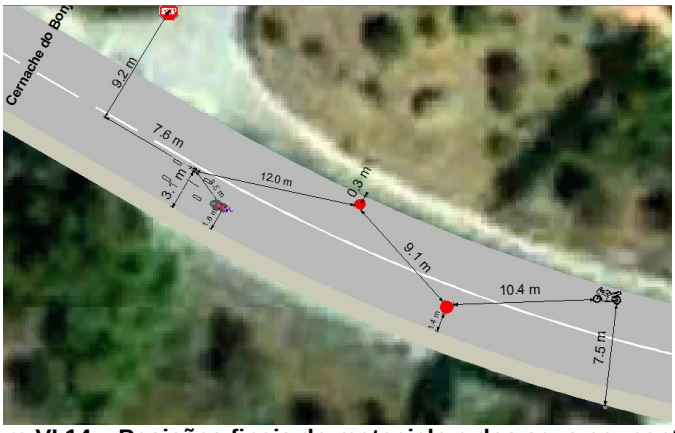


Figura VI.14 – Posições finais do motociclo e dos seus ocupantes.

a) b)

Figura VI.15 – Modelos de: a) motociclo e respectivos condutor e passageiro, b) ligeiro de passageiros utilizados na reconstituição computacional do acidente.

ANEXO VII

Tabela 46 – Relação entre o índice AIS e as correspondentes lesões na cabeça.

AIS	Gravidade	Lesões na cabeça
1	Mínima	Pequena contusão cerebral com dores de cabeça e vertigens, sem perda de consciência. Abrasão e pequenas lacerações na pele.
2	Moderada	Possibilidade de fractura craniana com perda de consciência inferior a 15 minutos. Possibilidade de lesões na córnea e retina, fractura do nariz ou dos ossos faciais.
3	Séria	Possibilidade alta de fractura craniana com perda de consciência superior a 15 minutos, sem danos neurológicos severos. Fractura possível da estrutura óssea da face e órbitas. Perda de visão. Fractura cervical sem dano na medula óssea.
4	Severa	Fractura craniana fechada com afundamento dos ossos e forte possibilidade de lesões neurológicas severas.
5	Crítica	Perda de consciência superior a 12 horas com hemorragias cerebrais e/ou indicadores de lesões cerebrais com níveis críticos.
6	Limite de sobrevivência	Destruição massiva de crânio e cérebro. Morte.

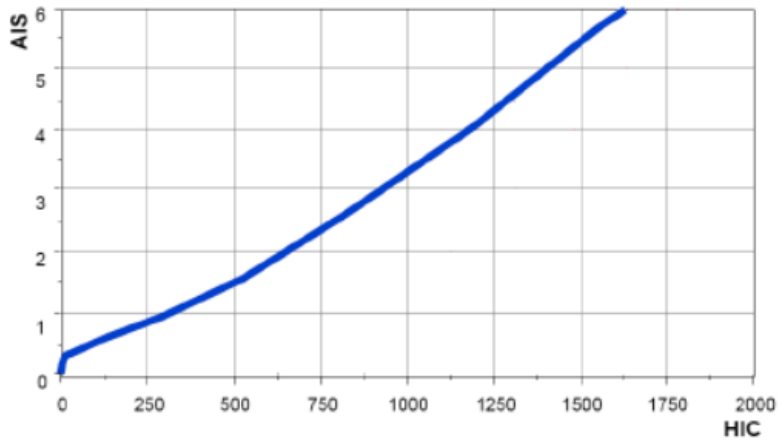


Figura VII.1 – Correlação entre HIC e AIS.

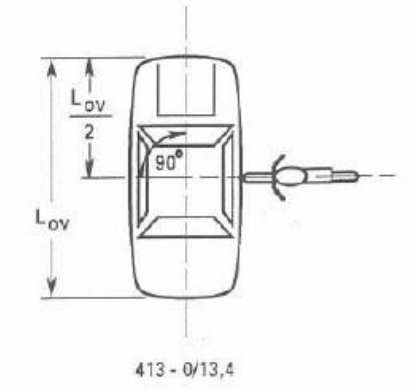


Figura VII.2 – Configuração de impacto lateral 413 – 0/13,4 da norma ISO13232 (fonte: Deguchi, 2005).

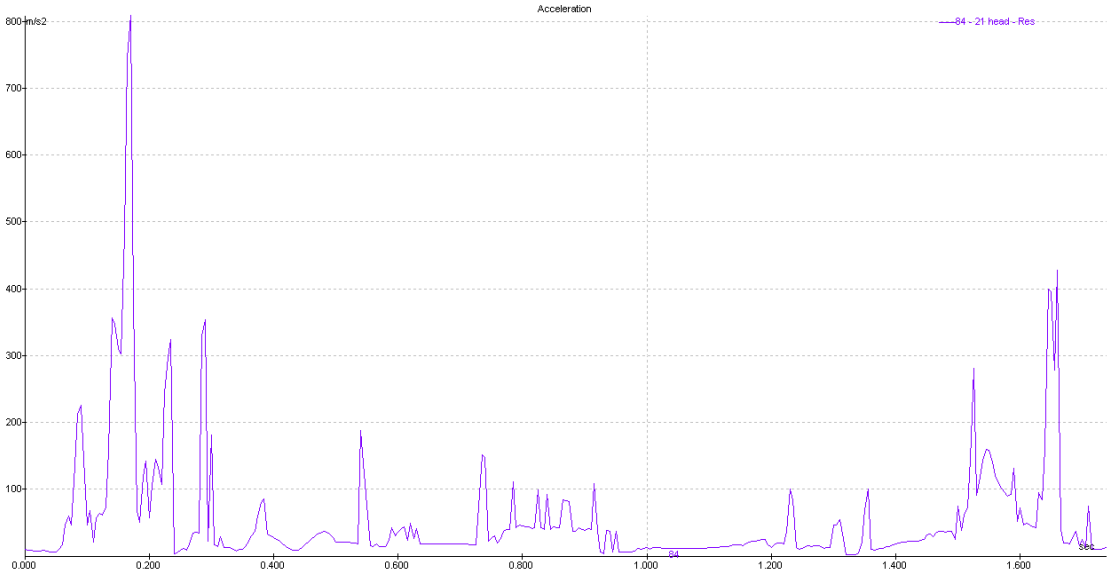


Figura VII.3 – Gráfico das acelerações verificadas na cabeça do modelo computacional do condutor do motociclo.

Tabela 47 – Características técnicas dos veículos considerados nas simulações de colisões laterais.

Manufacturer:	Honda	Porsche	Audi	BMW
Name:	CBR 900 RR Fireblade	911 Turbo	A8 2.5 TDI	X 5 3.0i
Type:	-	996	-	-
Origin:	J	D	D	D
built from:	01/2000	01/2000	03/2000	01/2001
built to:	12/2001	12/2005	12/2002	12/2002
Displacement [ccm]:	929	3600	2496	2979
Engine power [kW]:	111	309	132	170
Engine type:	4T / 4Z / R / -	Otto	Diesel	Otto
Vehicle shape:	S-Sport	Cou	Lim/4	Kb 5tür
Weight [kg]:	201	1552	1630	2090
Length [m]:	2.06	4.430000	5.03	4.67
Width [m]:	0.81 / 0.63	1.83	1.880	1.88
Height [m]:	-	1.300000	1.44	1.71
Track width [m]:	0.1	1.46 / 1.52	1.599 / 1.591	1.57 / 1.57
C.O.G. height [m]:	-	-	-	-
Dist. COG front axle [m]:	0.7	1.44	-	-
Max. velocity [km/h]:	274	307	227	202
Turning circle [m]:	-	10.9	12.3	-
Drive mode:	Z / ORKE	perm Allrad	Front	perm Allrad
No. of axles:	2	2	2	2
Vehicle type:	8	10	10	10
No. of gears:	S / 6 / OKE	S / 6	S / 6	A / 5